

Dissertation

**Untersuchungen zur phytosanitären Wirksamkeit und  
zu Wirkmechanismen wässriger Extrakte aus  
westafrikanischen Bioabfallkomposten gegen pilzliche  
Phytopathogene**

B. Papageorgiou

Berlin 2003

**Untersuchungen zur phytosanitären Wirksamkeit und  
zu Wirkmechanismen wässriger Extrakte aus  
westafrikanischen Bioabfallkomposten gegen pilzliche  
Phytopathogene**

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades  
doctor rerum agriculturalarum  
(Dr. rer. agr. )

eingereicht an der  
Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät  
der Humboldt-Universität zu Berlin

von  
Dipl. -Ing. agr. Basilios Papageorgiou  
aus Thessaloniki

Präsident  
der Humboldt-Universität zu Berlin  
Prof. Dr. Jürgen Mlynek

Dekan der Landwirtschaftlich- Gärtnerischen Fakultät  
Prof. Dr. Uwe Jens Nagel

Gutachter:   1. Prof. Dr. C. Büttner  
                  2. Prof. Dr. W. Pestemer  
                  3. Dr. habil. J. Helbig

Tag der mündlichen Prüfung: 23 Juni 2003

## **Inhaltsverzeichnis**

<b><u>Inhaltsverzeichnis</u></b> .....	<b>I</b>
<b><u>Abkürzungsverzeichnis</u></b> .....	<b>IV</b>
<b><u>Verzeichnis der Abbildungen</u></b> .....	<b>V</b>
<b><u>Verzeichnis der Tabellen</u></b> .....	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Literaturübersicht</b> .....	<b>3</b>
2.1 Kompost.....	3
2.2 Kompostextrakte .....	4
2.2.1 Antagonismus und Phyllosphäre.....	6
2.2.2 Induzierte Resistenz.....	7
2.3 Wirt – Erreger - Systeme.....	10
2.3.1 <i>Lycopersicon esculentum</i> .....	10
2.3.2 <i>Alternaria solani</i> .....	11
2.3.3 Tomate - <i>A. solani</i> .....	13
2.3.4 <i>Manihot esculenta</i> L. Crantz.....	15
2.3.5 <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (Penz.) f. sp. <i>manihotis</i> Chev. ....	17
2.3.6 Maniok – <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> .....	18
2.4 <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam. ....	21
<b>3 Material und Methoden</b> .....	<b>22</b>
3.1 Herkunft und Herstellung der Kompostextrakte.....	22
3.2 In-vitro-Kultur der Pathogene .....	24
3.3 Kultur der Versuchspflanzen .....	24
3.4 Untersuchung zur Wirksamkeit der Extrakte an abgetrennten Blättern und an Kulturpflanzen .....	24
3.4.1 Wirksamkeit an abgetrennten Tomatenblättern .....	24
3.4.2 Wirksamkeit an Tomatenpflanzen.....	26
3.4.3 Ad-planta-Versuche mit Bakterien, isoliert aus den Extrakten gegen <i>A. solani</i> .....	26
3.4.4 Wirksamkeit an Maniok (abgetrennte Blätter) .....	27
3.5 Mikrobielle Aktivität .....	28

3.5.1	Bestimmung der Koloniedichte in den Extrakten und in der Phyllosphäre .....	28
3.5.2	Plattentests .....	29
3.6	Enzymaktivität, Pflanzenwachstum und Phytotoxizität.....	29
3.7	Ermittlung des pH-Wertes der Extrakte, Elektronen- und lichtmikroskopische Aufnahmen.....	31
3.8	Statistische Auswertung.....	31
<b>4</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>32</b>
4.1	Untersuchung zur Wirksamkeit von Extrakten an abgetrennten Tomatenblättern	32
4.1.1	Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Herkunft des Kompostes.	32
4.1.2	Wirksamkeit in Abhängigkeit von der Konzentration Kompost – Wasser.....	35
4.1.3	Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Induktionszeit und dem Kompostalter .....	35
4.2	Untersuchung zur Wirksamkeit von Extrakten an Tomatenpflanzen.....	38
4.2.1	Einfluss der Extraktionsbedingungen.....	38
4.2.2	Wirksamkeit einzelner, aus den Extrakten isolierter bakterieller Antagonisten	41
4.2.3	Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Zugabe von Formulierungshilfsstoffen .....	42
4.3	Untersuchung zur Wirksamkeit von Extrakten an Maniok (abgetrennte Blätter)	47
4.3.1	Einfluss der Lagerungsdauer der Komposte und der Häufigkeit des Umrührens während der Extraktionszeit .....	47
4.3.2	Einfluss der Konzentration Kompost-Wasser und der Extraktionszeit .....	47
4.3.3	Formulierungshilfsstoffe .....	49
4.4	Ermittlung der mikrobiellen Aktivität in den Extrakten.....	50
4.5	Bakterienbestimmung und Plattentests.....	53
4.6	Reisolation .....	58
4.7	Messung der Enzymaktivität.....	62
4.8	Pflanzenverträglichkeit der Extrakte, Trocken- und Frischmasse Bestimmung der Pflanzen und pH-Wert der Extrakte.....	65
<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>69</b>
5.1	Wirkung von wässrigen Kompostextrakten .....	69
5.2	Einfluss der Extraktionsbedingungen.....	70
5.3	Ausgangsmaterial .....	73
5.4	Wirkmechanismen.....	75
5.4.1	Antagonismus .....	75
5.4.2	Abwehrmechanismen der Pflanze.....	80



5.4.2.1	Induzierte Resistenz.....	80
5.4.2.2	Induktionszeit .....	82
5.5	Formulierungshilfsstoffe .....	83
5.6	Untersuchung zur Wirksamkeit an den Pathosystemen.....	86
5.6.1	<i>Alternaria solani</i> – Tomate .....	86
5.6.2	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> – Maniok .....	88
5.6.3	<i>Ipomoea batatas</i> .....	89
5.7	Schlussfolgerungen und Ausblick .....	90
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassungen .....</b>	<b>93</b>
6.1	Zusammenfassung.....	93
6.2	Abstract (engl.) .....	95
6.3	Résumé (franz.) .....	97
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>99</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>119</b>
	Zusammensetzung der verwendeten Nährmedien .....	119
	Bakterienbestimmung.....	121
	Messung der Enzymaktivität an der Tomate und Batate .....	122
	Bilder .....	125
	<b>Danksagung .....</b>	<b>134</b>

**Abkürzungsverzeichnis**

A.	Alginat
As	<i>Alternaria solani</i>
Bbo	befallene Blattoberfläche
Bh	Befallshäufigkeit
cfu	colony forming units
Cg	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>
ER	zu Beginn einmal rühren
Ez	Extraktionszeit
Fhs	Formulierungshilfsstoffe
h	Stunde(n)
Iz	Induktionszeit
KAB	King`s Agar B Medium
Ke	Kompostextrakt
K/W	Kompost – Wasser
Mo	Mikroorganismen
NA	Nutrient Agar
NPK	Stickstoff-Phosphor-Kalium
PDA	Potato Dextrose Agar
RH	relative humidity
SNA	Slight Nutrient Agar
T.	Tag
TR	täglich rühren
V	Volumen
X.	Xanthan
Wdh.	Wiederholung
Z.	Zellulose

## **Verzeichnis der Abbildungen**

Abb. 1: Weltweite Verbreitung von <i>A. solani</i> (ROTEM, 1994) .....	12
Abb. 2: Konidien von <i>A. solani</i> (lichtmikroskopische Aufnahmen) .....	13
Abb. 3: Bildung von Acervuli an Maniokblättern.....	18
Abb. 4: Kompost und Wasser vor der Übersichtung (oben links), Kompost-Wasser-Gemisch (oben rechts), Abfiltration des Gemisches (unten links), wässriger Kompostextrakt (unten rechts) .....	23
Abb. 5: Blattbereich ausgestochen mit einem Korkbohrer zur Auswertung der gebildeten Acervuli (links); Petrischalen mit abgetrennten Maniokblättern (rechts) .....	27
Abb. 6: Anzahl der Mikroorganismen (cfu/ml Ke) im Extrakt (Conakry3) in Abhängigkeit von der Häufigkeit des Umrührens während der Extraktionszeit (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Welch-Test, $n = 4$ ) .....	40
Abb. 7: Anzahl der Mikroorganismen (cfu/ml Extrakt) (Diocoul2) in Abhängigkeit von der Temperatur während der Extraktionszeit (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Welch-Test, $n = 4$ ) .....	41
Abb. 8: Koloniedichte (cfu/ml) in Abhängigkeit von der Extraktionszeit (Nährmedium SNA)( $n = 5$ ) .....	50
Abb. 9: Koloniedichte auf selektiven Nährmedien in Abhängigkeit von der Herkunft des Kompostes ( $n = 4$ ) .....	50
Abb. 10: Anzahl der Mikroorganismen in Abhängigkeit von der Extraktionszeit und der Frequenz des Umrührens (Ke1ER = Diocoul2 zu Beginn einmal rühren, Ke1TR = Diocoul2 täglich rühren, Ke2ER = Conakry2 zu Beginn einmal rühren, Ke2TR = Conakry2 täglich rühren, Ke3ER = Lome2 zu Beginn einmal Rühren, Ke3TR = Lome2 täglich Rühren, $n = 5$ ) .....	51
Abb. 11: Anzahl der Mikroorganismen in Abhängigkeit von der Extraktionszeit, der Frequenz des Umrührens während der Extraktionszeit und der Zugabe von Glukose (Ke1 = Diocoul2 zu Beginn einmal rühren, Ke2 = Diocoul2 = täglich rühren, Ke3 = Diocoul2 täglich rühren und Glukose) (signifikant bei $\alpha = 0,1$ Nemenyi-Test, $n = 4$ ) .....	52
Abb. 12: Anzahl der Mikroorganismen in Abhängigkeit von der Extraktionszeit und dem Kompostalter (Lagerungszeit: Ke1 = 14 Monate, Ke2 = 5 Monate, Ke3 = 2 Monate, $n = 3$ ) .....	52
Abb. 13: Antagonistische Wirkung eines Bakteriums in vitro gegen <i>A. solani</i> .....	54
Abb. 14: Normales Myzel von <i>C. gloeosporioides</i> (links) und deformiertes Myzel nach der antagonistischen Wirkung von <i>B. licheniformis</i> in vitro .....	54
Abb. 15: Wirksamkeit der Extrakte (in vitro) gegen <i>A. solani</i> .....	57
Abb. 16: Elektronenmikroskopische Aufnahme von Tomatenblättern, unbehandelt (links) und mit Extrakten behandelt (rechts) .....	58

Abb. 17: Populationsentwicklung in der Phyllosphäre der Tomate in bestimmten Zeitabständen nach der Applikation der Extrakte (Ke1 = Diocoul2, Ke2 = Lome3) (3 Tage Ez, 1:5 K/W)(signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test, n = 3); 03.08.01 .....	59
Abb. 18: Populationsentwicklung in der Phyllosphäre der Batate in bestimmten Zeitabständen nach der Applikation der Extrakte (Ke1 = Lome3, Ke2 = Diocoul2, Ke3 = Conakry3) (3 Tage Ez, 1:3 K/W) (signifikant bei $\alpha = 0,05$ (im Tukey-Test, n = 3) .....	59
Abb. 19: Entwicklung der Anzahl der Mikroorganismen in der Phyllosphäre der Batate in bestimmten Zeitabständen nach der Behandlung mit Extrakten, angereichert mit Formulierungshilfsstoffen (3 Tage Ez, 1:5 K/W) (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test, n = 3) 03.08.2001 .....	60
Abb. 20: Entwicklung der Anzahl der Mikroorganismen in der Phyllosphäre der Tomate in bestimmten Zeitabständen nach der Behandlung mit Extrakten, angereichert mit Formulierungshilfsstoffen (3 Tage, 1:5 K/W) (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test, n = 3); 03.08.2001 .....	61
Abb. 21: Chitinase-Aktivität an Batateblättern in Abhängigkeit von der Aufbereitung der Proben und der Induktionszeit (K1 = Kontrolle, die Pflanzen wurden mit Wasser behandelt, K2 = Kontrolle ohne Wasser) (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test, n = 3); 08.07.01 .....	62
Abb. 22: $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität in der Batate nach der Behandlung mit Extrakten (3 Tage Ez, 1:4 K/W); 28.08.2001 (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test innerhalb der einzelnen Varianten, n = 3) .....	63
Abb. 23: $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität in der Batate nach der Behandlung mit Extrakten (3 Ez, 1:4 K/W) (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test innerhalb der einzelnen Tage, n = 3); 28.08.2001 .....	64
Abb. 24: $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität in der Tomate nach der Behandlung mit Extrakten (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test innerhalb der einzelnen Tage, n = 3 (3 Tage Ez, 1:4 K/W); 28.08.2001.....	64
Abb. 25: $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität in der Tomate nach der Behandlung mit Extrakten (3 Tage K/W, 1:4 K/W) (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test innerhalb der einzelnen Varianten, n = 3); 28.08.2001 .....	65
Abb. 26: Ermittlung der Phytotoxizitätssymptome an der Tomate nach fünf Applikationen mit Extrakten (5 Tage Ez, 1:4 K/W, n = 10) .....	66
Abb. 27: Ermittlung der Phytotoxizitätssymptome an der Batate nach vier Applikationen mit Extrakten (5 Tage Ez, 1:4 K/W, n = 10) .....	67

## Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Abwehrmechanismen der Pflanzen (Zusammengestellt nach BRUNOLD et. al., 1996).....	8
Tab. 2: Taxonomische Klassifikation von <i>Lycopersicon esculentum</i> (SITTE et al., 2002).....	11
Tab. 3: Taxonomische Klassifikation von <i>A. solani</i> (KIFFER und MORELET, 1999) .....	12
Tab. 4: Taxonomische Klassifikation von <i>Manihot esculenta</i> (SITTE et al., 2002).....	16
Tab. 5: Taxonomische Klassifikation von <i>C. gloeosporioides</i> (KIFFER und MORELET, 1999).....	18
Tab. 6: Taxonomische Klassifikation von <i>Ipomoea batatas</i> (SITTE et al., 2002) .....	21
Tab. 7: Herstellungsdatum der verwendeten Komposte zur Versuchsdurchführung .....	22
Tab. 8: Durchgeführte Untersuchungen an abgetrennten Tomatenblättern, Tomatenpflanzen, Maniok und an der Batate.....	25
Tab. 9: Boniturschema für die befallene Blattoberfläche an der Tomate.....	26
Tab. 10: Wirksamkeit der Extrakte (Ez 9 Tage, 1:5 K/W, 24h Iz) gegen <i>A. solani</i> an abgetrennten Tomatenblättern in Abhängigkeit von der Herkunft der Komposte (signifikant bei $\alpha = 0,05$ Nemenyi-Test, $n = 10$ , Signifikanz wird mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet); 17.10.2000.....	32
Tab. 11: Wirksamkeit der Extrakte (7 Tage Ez, 1:4 K/W, 24 h Iz) gegen <i>A. solani</i> an abgetrennten Tomatenblättern in Abhängigkeit von der Herkunft der Komposte (signifikant bei $\alpha = 0,05$ Tukey-Test, $n = 10$ ); 18.09.2000 .....	33
Tab. 12: Wirksamkeit der Extrakte (9 Tage Iz, 1:5 K/W, 48h Iz) gegen <i>A. solani</i> an abgetrennten Tomatenblättern in Abhängigkeit von der Herkunft der Komposte (signifikant bei $\alpha = 0,05$ Nemenyi-Test, $n = 10$ ); 28.09.2000.....	33
Tab. 13: Wirksamkeit der Extrakte (Tsevie1, T.Madina1 und Lome2, 7 Tage Ez, 2 Tage Iz und 1:4 K/W, T.madina1 <sup>+</sup> 9 Tage Ez, 1 Tag Iz und 1:5 K/W) an abgetrennten Tomatenblättern (Sorte Xina) gegen <i>A. solani</i> in Abhängigkeit von der Herkunft der Komposte (signifikant bei $\alpha = 0,1$ Nemenyi-Test, $n = 5$ ); 11.04.2001 .....	34
Tab. 14: Wirksamkeit der Extrakte (4 Tage Ez, 1:4 K/W, 2 Tage Iz) an abgetrennten Tomatenblättern (Sorte Xina) in Abhängigkeit von der Herkunft des Kompostes und der Koloniedichte auf zwei verschiedenen Nährmedien (relativ zu Kontrolle) (signifikant bei $\alpha = 0,1$ Nemenyi-Test, $n = 10$ ); 25.05.2001 .....	34
Tab. 15: Wirksamkeit der Extrakte gegen <i>A. solani</i> an abgetrennten Tomatenblättern (Sorte Xina) in Abhängigkeit von der Konzentration Kompost – Wasser (relativ zu Kontrolle) (signifikant bei $\alpha = 0,1$ Nemenyi-Test, $n = 10$ ) .....	35
Tab. 16: Wirksamkeit der Extrakte (3 Tage Ez, 1:4 K/W) aus Diocoul2 in Abhängigkeit von der Induktionszeit (signifikant bei $\alpha = 0,1$ Nemenyi-Test, $n = 10$ ); 16.03.2001 .....	36
Tab. 17: Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Induktionszeit, (relativ zur Kontrolle) (signifikant bei $\alpha = 0,05$ Nemenyi-Test, $n = 10$ ) .....	36

Tab. 18: Einfluss des Kompostalters auf die Wirksamkeit der Extrakte (Diocoul) gegen <i>A. solani</i> an abgetrennten Tomatenblättern (4 Tage Ez, 1:4 K/W, 2 Tage Iz) (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Nemenyi-Test, $n = 10$ ); 06.04.2001 .....	37
Tab. 19: Zusammenfassung der höchsten Wirksamkeit der Extrakte an abgetrennten Tomatenblättern in Abhängigkeit von den untersuchten Parametern.....	37
Tab. 20: Wirksamkeit der Extrakte (4 Tage Ez, 2 Tage Iz) gegen <i>A. solani</i> an der Tomate (Sorte St. Pierre) in Abhängigkeit von der Konzentration Kompost – Wasser (signifikant bei $\alpha = 0,1$ Nemenyi-Test, $n = 32$ ); 16.07.2001.....	38
Tab. 21: Wirksamkeit der Extrakte (1:5 K/W, 2 Tage Iz) in Abhängigkeit von der Extraktionszeit gegen <i>A. solani</i> an der Tomate (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test, $n = 29$ ); 08.08.2001 .....	39
Tab. 22: Einfluss der Häufigkeit des Umrührens des Kompost-Wasser-Gemisches während der Extraktion auf die Wirksamkeit der Extrakte aus Conakry3 (3 Tage Ez, 1:4 K/W, 2 Tage Iz) gegen <i>A. solani</i> an der Tomate (signifikant bei $\alpha = 0,1$ Nemenyi-Test, $n = 30$ ); 15.06.2001 .....	39
Tab. 23: Wirkung der Kompostextrakte (3 Tage Ez, 1:4 K/W, 2 Tage Iz) gegen <i>A. solani</i> an der Tomate (Sorte Rheinlandsruhm) in Abhängigkeit von der Temperatur während der Extraktionszeit (signifikant bei $\alpha = 0,1$ im Nemenyi-Test, $n = 28$ ).....	40
Tab. 24 :Zusammenfassung der höchsten Wirksamkeit der Extrakte an Tomatenpflanzen in Abhängigkeit von den Extraktionsbedingungen.....	41
Tab. 25: Wirksamkeit isolierter Bakterien aus den Extrakten gegen <i>A. solani</i> an der Tomate (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test, $n = 28$ ); 10.05.2001 .....	42
Tab. 26: Wirksamkeit der Extrakte (3 Tage Ez, 1:5 K/W, 2 Tage Iz) gegen <i>A. solani</i> an der Tomate in Abhängigkeit von der Zugabe von Formulierungshilfsstoffen (0,2 %) (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test, $n = 31$ ); 15.10.01 .....	42
Tab. 27: Wirksamkeit der Extrakte (3 Tage Ez, 1:5 K/W, 2 Tage Iz) gegen <i>A. solani</i> an der Tomate in Abhängigkeit von der Zugabe und Kombination von Formulierungshilfsstoffen (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test, $n = 27$ ); 24.09.01 .....	43
Tab. 28: Wirksamkeit der Extrakte (3 Tage Ez, 1:5 K/W, 2 Tage Iz) gegen <i>A. solani</i> an der Tomate in Abhängigkeit von der Zugabe und Kombination von Formulierungshilfsstoffen (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test, $n = 26$ ); 20.11.01 .....	44
Tab. 29: Einfluss der Konzentration von Xanthan auf die Wirksamkeit der Extrakte (3 Tage Ez, 1:5 Konzentration K/W, 2 Tage Iz) gegen <i>A. solani</i> (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Nemenyi-Test, $n = 27$ ); 22.12.2001 .....	44
Tab. 30: Wirksamkeit der Extrakte gegen <i>A. solani</i> an der Tomate in Abhängigkeit von der Zugabe und Konzentration des Fhs Zellulose (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test, $n = 26$ ) .....	45

Tab. 31: Wirksamkeit der Extrakte (3 Tage Ez, 1:5 K/W, 2 Tage Iz) gegen <i>A. solani</i> an der Tomate in Abhängigkeit von der Zugabe von Zusatzstoffen (Neem, Zucker vor und nach der Herstellung der Extrakte) (0,5 %) (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Nemenyi-Test, $n = 28$ ); 24.10.01 .....	46
Tab. 32: Befallshäufigkeit in Abhängigkeit von der Dauer der Wirksamkeit der Extrakte (5 Tage Ez, 1:5 K/W, 2 Tage Iz) und den Zusatzstoffen (0,5 %) (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test, $n = 27$ ); 28.11.2001 .....	46
Tab. 33: Wirksamkeit der Extrakte (3 Tage Ez, 1:10 K/W, 2 Tage Iz) in Abhängigkeit von der Dauer der Lagerung der Komposte und der täglichen Durchmischung, (relativ zur Kontrolle) (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Nemenyi-Test, $n = 30$ ) ..... (Suspension von <i>Cg</i> $3 \times 10^5$ Konidien/ml); 25.08.2001 .....	47
Tab. 34: Einfluss der Konzentration K/W auf die Wirksamkeit der Extrakte (8 Tage Ez, 2 Tage Iz) gegen <i>C. gloeosporioides</i> an Maniok (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Nemenyi-Test, $n = 30$ ) (Suspension von <i>Cg</i> $3 \times 10^5$ Konidien/ml); 21.09.2001 .	48
Tab. 35: Einfluss der Extraktionszeit auf die Wirksamkeit der Extrakte (1:4 K/W, 24 h Iz) gegen <i>C. gloeosporioides</i> an Maniokblättern (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Nemenyi-Test, $n = 30$ ) (Suspension von <i>Cg</i> $3 \times 10^5$ Konidien/ml); 15.08.2002 .	48
Tab. 36: Zusammenfassung der höchsten Wirksamkeit der Extrakte an abgetrennten Maniokblättern in Abhängigkeit von den untersuchten Parametern .....	49
Tab. 37: Einfluss der Formulierungshilfsstoffe auf die Wirksamkeit der Extrakte gegen <i>C. gloeosporioides</i> an Maniok (signifikant bei $\alpha = 0,05$ im Tukey-Test, $n = 30$ ) (Suspension von <i>Cg</i> $10^3$ Konidien/ml) .....	49
Tab. 38: Identifikation der Bakterien in Abhängigkeit von der Herkunft der Extrakte .....	53
Tab. 39: Herkunft und durchschnittliche Hemmzonen bakterieller Antagonisten gegen <i>A. solani</i> und <i>C. gloeosporioides</i> ( $n = 4$ ) (siehe Anhang 3a) .....	55
Tab. 40: Wirkung des Bakteriums in Abhängigkeit vom Nährmedium ( $n = 5$ ) .....	56
Tab. 41: Wirkung steriler Extrakte (8 Tage Ez, 1:4 K/W) gegen <i>A. solani</i> in vitro ( $n = 3$ ); 28.12.2000 .....	56
Tab. 42: Wachstum der Pathogene auf Nährmedien mit autoklavierten bzw. sterilen Kompostextrakten (9 Tage Ez, 1:3 K/W)( $n = 5$ ); 12.07.2001 .....	57
Tab. 43: Wirksamkeit der Extrakte in vitro gegen <i>A. solani</i> ( $n = 4$ ) .....	58
Tab. 44: Bestimmung der Frisch- bzw. Trockenmasse von Tomatenpflanzen nach fünf Applikationen mit Kompostextrakten (5 Tage Ez, 1:4 K/W) (signifikant bei $\alpha = 0,1$ im Tukey-Test, $n = 10$ ) .....	66
Tab. 45: Bestimmung der Frisch- bzw. Trockenmasse von Batatepflanzen nach vier Applikationen mit Extrakten (5 Tage Ez, 1:4 K/W) (signifikant bei $\alpha = 0,1$ im Tukey-Test, $n = 10$ ) .....	67
Tab. 46: pH-Wert der Extrakte .....	67
Tab. 47: pH-Wert der Extrakte in Abhängigkeit von der Extraktionszeit .....	68
Tab. 48: Vorteile und Nachteile der chemischen und biologischen Bekämpfung (ANDREWS, 1992) .....	91

## 1 Einleitung

Der Kompost ist ein hervorragender Dünger und Bodenverbesserer und trägt zur Verminderung der Abfallmengen und zur Verbesserung der Pflanzengesundheit bei (ALVAREZ et al., 1995; CHEN et al., 1987; LAMONDIA et al., 1999). Bodenanwendungen können das antiphytopathogene Potenzial des Bodens steigern und den Befall mit bodenbürtigen Krankheitserregern aufgrund der hohen mikrobiellen Besiedlungsdichte unterdrücken (ERHART et al., 1999; HOITNIK et al., 1997). Die Bekämpfung bodenbürtiger Erreger mit mikrobiellen Antagonisten zeigte bisher ermutigende Ergebnisse, da die Rhizosphäre gute Voraussetzungen für die Ansiedlung von antagonistischen Mikroorganismen bietet (Nährstoffe, geringere Temperaturschwankungen, optimale Voraussetzungen zur Bildung von fungistatischen Substanzen). Im Unterschied zu der Rhizosphäre bietet die Phyllosphäre aufgrund wechselnder Witterungsverhältnisse wie Regen, Trockenheit, UV-Strahlung und damit verbundenen schwierigeren klimatischen Bedingungen schlechtere Voraussetzungen für die Ansiedlung von Mikroorganismen (FOKEMMA, 1993).

Das antagonistische Potenzial der Bakterien auf der Blattoberfläche wurde mehrfach analysiert und bestätigt (KRAUSS und BUSTAMENTE, 1999). Frühere Untersuchungen zeigen, dass durch die Erhöhung der Antagonistendichte in der Phyllosphäre die Blattkrankheiten effektiver unterdrückt werden können (DUIJFF et al., 1999). Wässrige Kompostextrakte haben durch die unterschiedlichen enthaltenen Mikroorganismen-populationen Blattpathogene an Tomate, Kartoffel, Gerste und Wein erheblich unterdrückt (BUDDE und WELTZIEN, 1988; JONGEBLOED et al., 1993; KETTERER und SCHWAGER, 1992; SACKENHEIM, 1993; WELTZIEN et al., 1987). Durch den Einsatz von Kompostextrakten erhöht sich die Mikroorganismendichte in der Phyllosphäre und die Nährstoffmenge, was wiederum zur Vermehrung der natürlichen Mikroflora beiträgt.

Auf der Basis dieser Erkenntnisse wurde ein internationales und interdisziplinäres Forschungsprojekt durchgeführt, in dessen Rahmen in drei westafrikanischen Ländern (Guinea, Togo, Senegal) organischer Hausmüll gesammelt und kompostiert wurde. Mit der Kompostierung von organischem Hausmüll soll ein wichtiger Beitrag zur Abfallbeseitigung in den urbanen und periurbanen Zonen dieser Länder geleistet werden. Die Komposte und deren Produkte sollen zu phytosanitären Zwecken verwendet werden. Dabei wird Kompost als Bodenverbesserer eingesetzt, d.h. er soll die Bodeneigenschaften verbessern und die bodenbürtigen Krankheitserreger unterdrücken. Ein weiteres Ziel ist, dass die wässrigen Extrakte zudem präventiv die Entwicklung von Blattpathogenen unterdrücken. Die Extrakte



sollen in integrierte Pflanzenschutzstrategien eingebunden werden, um eine Reduzierung des chemischen Pflanzenschutzes zu erzielen und Bekämpfungsmöglichkeiten für die Landwirte anzubieten, für die eine chemische Bekämpfung finanziell nicht erschwinglich ist. Der Kompost dient als Ausgangsmaterial für die Herstellung von wässrigen Kompostextrakten, die zur Bekämpfung von Blattpathogenen an verschiedenen Kulturpflanzen eingesetzt werden.

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes erstellt. Sie möchte einen Beitrag zur Entwicklung neuartiger biologischer Bekämpfungsmaßnahmen der Pflanzenkrankheiten in Westafrika leisten. Die Applikation der Extrakte soll eine ökonomische und ökologische Alternative für die kleinbäuerliche Landwirtschaft bieten und somit die Ernährungssicherheit verbessern und eine schonendere Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen ermöglichen. Die Untersuchungen wurden bei pilzlichen Krankheitserregern durchgeführt, die große Schäden verursachen und einen hohen Fungizidaufwand erfordern. In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss der Kompostextrakte auf *Lycopersicon esculentum* – *Alternaria solani*, *Manihot esculenta* – *Colletotrichum gloeosporioides* und *Ipomoea batatas* analysiert.

Folgende Zielsetzungen stehen im Zentrum der Betrachtungen:

- Untersuchungen zur Wirksamkeit der wässrigen Kompostextrakte in Wirt–Erreger–Systemen. Ermittlung der phytosanitären Wirkungen der Extrakte.
- Aufklärung der Wirkmechanismen an den Pathosystemen. Ermittlung der wirksamen Komponenten in den Extrakten. Bestimmung der mikrobiellen Antagonisten. In den Extrakten wird die Mikroorganismenpopulation quantitativ und qualitativ bestimmt und die einzelnen Mikroorganismen werden in Plattentests untersucht. Analysen zur Auslösung von Abwehrmechanismen in der Pflanze nach der Applikation von wässrigen Extrakten.
- Studien zur Erhöhung und Stabilisierung der Wirksamkeit. Es werden die Extraktionsbedingungen zur Optimierung der Wirksamkeit untersucht sowie die Anreicherung der Extrakte mit verschiedenen Formulierungshilfsstoffen.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Kompost

Kompost entsteht bei der Verrottung verschiedener Wirtschafts- und Haushaltsabfälle pflanzlicher und tierischer Herkunft. Er stellt einen ausgewogenen Humusdünger dar, der gute strukturverbessernde Eigenschaften aufweist und eine umweltfreundliche Entsorgung organischer Abfälle ermöglicht. Kompost wird von der Landwirtschaft zunehmend als attraktiver Düngestoff angesehen, unter anderem aufgrund seiner Bezeichnung als organischer NPK-Dünger nach dem geltenden Düngemittelrecht. Bei der Kompostierung wird das organische Material von Mikroorganismen und Kleinstlebewesen ab- und umgebaut, um nährstoffhaltige Pflanzenreste wieder in den landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Kreislauf zurückzuführen (ROTHSTEIN und SCHRÖDER, 2001). Die Kompostierung ist eine sinnvolle Abfallbeseitigung mit einer geringen Umweltbelastung. Kompostierbar ist ein Teil des Hausmülls, des Klärschlammes und ein Großteil aller organischen Stoffe wie Laub, Holz, Garten- und landwirtschaftliche Abfälle. Die Kompostarten werden nach den verwendeten Ausgangsmaterialien gekennzeichnet, wie Biokomposte, die aus Abfällen aus privaten Haushalten, Gärten und Parkanlagen hergestellt werden, oder Rindenkomposte, die aus Schälrinden erzeugt werden. Andererseits unterscheiden sich die Komposttypen in ihrem Verwendungszweck (Mulchen) oder nach spezifischen Eigenschaften, wie Rottegrad oder Gehalt an organischer und mineralischer Substanz (STEINMANN und NOELL, 2000).

Die positiven Auswirkungen der Kompostanwendung beruhen auf der Verbesserung des Humushaushalts, der Bodeneigenschaften, der biologischen Aktivität und der phytosanitären Wirkungen (CARAVACA et al., 2002). Letztere waren in China schon vor Jahrhunderten bekannt (COOK und BAKER, 1983). Die befallsreduzierenden Effekte des Komposts an verschiedenen Wirt-Erreger-Systemen wurden in mehreren Untersuchungen nachgewiesen (ABBASI et al., 2002; BEN-YEPHET und NELSON, 1999; MILLER et al., 1997). Gemische aus Erde und Kompost reduzierten den Befall an Gerste mit *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* (WAWRA, 1990). Zur Erklärung der Wirkmechanismen der Komposte wurden von PHARAND et al. (2002) zytologische Studien durchgeführt. Kompostzugaben unterdrücken den Befall mit *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici*, was auf induzierte Resistenz zurückzuführen war, hervorgerufen von Mikroorganismen. An den Befallsstellen bildeten sich histologische Strukturen (Zellwandablagerungen), die die Penetration des Pathogens verhinderten. Die Pilzflora von gewerblich hergestellten Komposten zeigten in Plattentests ein starkes antagonistisches Potenzial gegen *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani*,

*Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* und *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* (BREITENBACH et al., 1998). Untersuchungen zeigten, dass die suppressiven Wirkungen der Komposte von der Zusammensetzung des kompostierten Materials abhängen. ERHART et al. (1999) berichteten von der Unterdrückung von *Pythium ultimum* bei einem Rindenkompost, während Komposte aus organischem Haushaltsmüll eine geringere Befallsreduktion erzielten.

Über die phytosanitären Wirkungen des Komposts in Afrika liegen schon aus mehreren Ländern Ergebnisse vor (SOMANA, 2002). OFOSU-ANIN et al. (2000) berichteten von dem Komposteinsatz an der Tomate in Ghana. Kompostzugaben erhöhten die Anzahl, das Gewicht und die Qualität der Früchte und unterdrückten die Krankheitserreger *Fusarium oxysporum* und *Sclerotium rolfsii*. Trotz der positiven Wirkungen des Komposts können bei seinem Einsatz Probleme entstehen, wie Überdüngung, Zufuhr von Schwermetallen, Hygiene- und Phytotoxizitätsprobleme, z.B. von Herbizidresiduen, die nicht abgebaut wurden (FAUCI et al., 2002). Darüber hinaus ist die Kontrolle der Kompostqualität wichtig, um Probleme bei der Verwendung von Komposten zu vermeiden.

## 2.2 Kompostextrakte

Kompostextrakte sind Filtrate, die aus einer Kompost-Wasser-Mischung nach einer definierten Zeit (Extraktionszeit) mit einem Baumwolltuch abfiltriert werden. Die Wirkung beruht auf den vielfältigen Mikroorganismenpopulationen, die ein antagonistisches Potenzial darstellen, oder auf der Auslösung von Abwehrmechanismen in der Pflanze. Die ersten positiven Berichte über Kompostextrakte wurden von einer Bonner Arbeitsgruppe hinsichtlich *Plasmopara viticola* an der Rebe (WELTZIEN und KETTERER, 1986) präsentiert und zeigten eine recht gute Wirkung gegen das Pathogen. Anschließend wurde die positive Wirksamkeit an mehreren Wirt-Erreger-Systemen bestätigt, wobei offensichtlich verschiedene Wirkmechanismen auftraten (MCQUILKEN et al., 1994; WELTZIEN et al., 1987; YOHALEM et al., 1996). Neben einer Wirkung durch Antibiose, die von in den Extrakten vorhandenen Bakterien hervorgerufen wurde, konnte auch die Aktivierung pflanzeigener Abwehrmechanismen (Lignifizierung, Papillenbildung) beobachtet werden (SAMERSKI und WELTZIEN 1988; STINDT, 1990).

Die Wirksamkeit der Extrakte ist vom Ausgangsmaterial der Kompostierung sowie von den Extraktionsbedingungen abhängig. Von diesen Faktoren werden die Populationsdichte, die Zusammensetzung der Mikroorganismen und die Stoffwechselprodukte beeinflusst. KETTERER (1990) und STINDT (1990) stellten fest, dass Kompostextrakte, deren

Ausgangsmaterial einen Anteil aus tierischem Mist enthielt, den Befall von *Botrytis cinerea* und *Phytophthora infestans* effektiver reduzieren konnten, als Komposte aus rein pflanzlichen Komponenten. Jedoch fand SACKENHEIM (1993) Extrakte aus pflanzlichen Komposten mit hohem Wirkungspotenzial gegen Krankheitserreger. Den unterschiedlichen Wirkungsgrad der Extrakte in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial bestätigten auch BUDDE und WELTZIEN (1988). Bei Untersuchungen der Wirksamkeit von acht Extrakten unterschiedlicher Herkunft wirkten jene mit dem Ausgangsmaterial Regenwurmkompost und Wurmkompost gegen *Erysiphe graminis* am effektivsten.

Die Extraktionsbedingungen, so zeigten frühere Untersuchungen, spielen eine erhebliche Rolle bei der Wirksamkeit der Extrakte gegen Pathogene. Parameter wie die Extraktionszeit (Zeit der Überschichtung des Kompost-Wasser-Gemisches bis zur Filtration) und die Kompost - Wasser Konzentration (Mischverhältnis von Wasser und Kompost) beeinflussten die Effektivität. Der Extraktionszeit wurde von mehreren Autoren sehr viel Aufmerksamkeit geschenkt. Während dieser Zeit entwickeln sich unterschiedliche Stoffwechselprodukte, dominieren und vermehren sich einzelne Mikroorganismengruppen in den verschiedenen Phasen der Überschichtungszeit (STINDT, 1990). Aus vorliegenden Studien geht hervor, dass die optimale Extraktionszeit vom Pathogen und vom Ausgangsmaterial abhängig ist. STINDT und WELTZIEN (1988) erreichten die höchste Wirksamkeit gegen *Botrytis cinerea* nach einer Extraktionszeit von 16 Tagen mit einem Grünmasse-Stroh-Kompost. MCQUILKEN et al. (1994) erzielten die höchste Unterdrückung von *B. cinerea* nach 8 Tagen mit einem Kompostextrakt aus Pferdemist und Stroh, ELAD und SHTIENBERG (1994) dagegen nach einer Extraktionszeit von 10 Tagen. Jedoch arbeiteten die meisten Wissenschaftler mit einer Extraktionszeit zwischen 3 und 10 Tagen. Die Wirkung der Extrakte wird auch durch die Konzentration Kompost - Wasser beeinflusst. SACKENHEIM (1993) erzielte die beste Wirkung bei einem Gewichtsanteil von 1:2,5 Kompost – Wasser, jedoch wurde aus ökonomischen und praxisbedingten Gründen in den früheren Untersuchungen ein Verhältnis von 1:4–5 gewählt. Starke Verdünnungen von über 1:10 zeigten ein Nachlassen der Wirksamkeit.

Zur Erhöhung und Stabilisierung der Effektivität können die Extrakte mit Zusatzstoffen angereichert werden. Formulierungshilfsstoffe oder Nährstoffzusätze werden entweder vor der Herstellung des Extraktes oder nach der Präparation zugefügt. Ziel ist die Förderung der Mikroorganismen und die Steigerung der Wirksamkeit der Extrakte. Dadurch werden die Mikroorganismen und deren Stoffwechselprodukte gegen Austrocknung und UV-Strahlung geschützt. Zusätzlich wird die Vermehrung gefördert und eine Vergrößerung des

Nährstoffreservoirs auf der Blattoberfläche erzielt. SACKENHEIM (1993) und GROSS-SPANGENBERG (1992) erhöhten die Wirksamkeit der Extrakte mit der Anreicherung von Saccharose und Bierhefeextrakt und erreichten eine Verbesserung der Haftfähigkeit der Extrakte durch die Zugabe von methylierter Zellulose. Zugaben von Casein in einem Rindermist-Extrakt erhöhten die Mikroorganismendichte in der Phyllosphäre und demzufolge auch die Wirksamkeit der Extrakte gegen *Erysiphe polygoni* an Buschbohnen und *Phytophthora infestans* an der Tomate (KETTERER et al., 1992).

### 2.2.1 Antagonismus und Phyllosphäre

Kompostextrakte erhöhen die Populationsdichte der Mikroorganismen in der Phyllosphäre und damit auch das antagonistische Potenzial gegen Krankheitserreger (SACKENHEIM et al., 1994). Das antagonistische Potenzial mikrobieller Gegenspieler von Pflanzenkrankheiten beruht auf drei Grundprinzipien: Konkurrenz, Parasitismus und Antibiose (KOCH, 1996). Die mikrobiellen Antagonisten bilden fungistatische Substanzen, die Lysis bei den Organen des Krankheitserregers hervorrufen, parasitieren die Pathogene oder konkurrieren um Nährstoffe und Lebensraum. Nährstoffe dienen der Vermehrung der Mikroorganismen und spielen indirekt eine Rolle bei der Bildung von Antibiotika und Siderophoren in der Phyllosphäre (ANDREWS, 1992). Die Wirkung der Antagonisten wurde an bodenbürtigen Krankheitserregern schon intensiv untersucht (BERG et al., 2000; MARTEN et al., 2001; SHARMA und NOWAK, 1998). Der Einsatz von Antagonisten auf den oberirdischen Pflanzenbereich wurde hingegen wenig erforscht (ZHANG und YUEN, 1999). Kenntnisse über den Mechanismus der Penetration der Pilze helfen beim erfolgreichen Einsatz der Antagonisten. Obligat biotrophe Pathogene fordern wenig oder überhaupt keine exogenen Nährstoffe zur Penetration. Darüber hinaus sind Antagonisten, die Antibiotika bilden, geeignet für die Unterdrückung dieser Pathogene (RYTTER et al., 1989; SZTEJNBERG et al., 1989). Nekrotrophe Pathogene sind hingegen auf exogene Nährstoffe angewiesen, um erfolgreich zu penetrieren, weshalb in diesem Fall Antagonisten, die um die Nährstoffe konkurrieren, geeigneter sind (ANDREWS, 1992).

Auf der Blattoberfläche kommen vor allem anorganische Ionen, Zucker, Aminosäuren, Alkohole, Vitamine, Hormone und zahlreiche sekundäre Pflanzenstoffe vor (ANDREWS, 1992). Sie werden ergänzt durch Stoffwechselprodukte der Mikroflora (Bakterien und hefeartige Pilze). Hinzu kommen fremde Ablagerungen (Stäube und Pollen) (HOFFMANN et al., 1985). Der Mikroflora der Phyllosphäre werden wichtige Aufgaben zugesprochen, wie Antagonismus, Resistenzinduktion und Stickstofffixierung (SMOLKA, 1992). Die Besiedlung der Phyllosphäre mit Mikroorganismen ist wesentlich von den klimatischen Bedingungen

abhängig, zum Beispiel Temperatur, Strahlung, Gasen, Wasser, Wind, Verschmutzung und saurem Regen (SPURR, 1990). LEGARD et al. (1994) berichteten von der Entwicklung der Phyllosphärenpopulation in Abhängigkeit von den wechselnden klimatischen Bedingungen im Feld und unter Glashaushbedingungen. Obwohl die Population von einigen Mikroorganismen stark schwankte, konnten sich einige Bakterien allen Verhältnissen anpassen. Über das antagonistische Potenzial der natürlichen Mikroflora der Phyllosphäre wurde mehrmals berichtet (VESELY und KOUBOBA, 1993; ZAHER et al., 1985). FROMMEL und PAZOS (1993) zeigten, dass 19 % der isolierten Bakterien aus der Phyllosphäre der Tomate *Fusarium* sp. und *Pythium* sp. in vitro unterdrückten. KETTERER et al. (1992) zeigten einen positiven Effekt auf die Phyllosphärenmikroflora durch Anwendung von Kompostextrakten. Durch die Applikation der wässrigen Extrakte wurde eine deutliche Korrelation zwischen der Höhe der mikrobiellen Aktivität in der Phyllosphäre und der Unterdrückung des Befalls durch Pilzkrankheiten festgestellt.

### **2.2.2 Induzierte Resistenz**

Pflanzen können einer Vielzahl potenzieller Krankheitserreger widerstehen. Die Abwehrmechanismen der Pflanzen bestehen aus einer Reihe von Barrieren, die nicht gegen bestimmte Erreger gerichtet sind, sondern oft ein breites Wirkungsspektrum haben. Die Abwehrreaktionen sind meist auf eine Kombination von Reaktionen zurückzuführen (BRUNOLD et al., 1996; MINDT, 1995; STANETTY und MIHOVILOVIC, 1995) (Tab.1).

Abwehrmechanismen können in die konstitutive und die induzierte Abwehr gegliedert werden. Die konstitutive Abwehr besteht aus präformierten strukturellen Barrieren und Abwehrstoffen. Zu den strukturellen Hindernissen gehören hoch- und niedermolekulare Verbindungen wie das Lignin. Die Zellwände enthalten Lignin, das je nach Alter und Zelltyp verholzen kann, schwer abbaubar ist und das Eindringen der Pilze verhindert. Die Abwehrstoffe bilden eine weitere präformierte Barriere. Diese Stoffe inaktivieren hydrolytische Enzyme des Erregers oder besitzen eine antibiotische Wirkung. Sie werden als Phytoanticipine bezeichnet. Dazu zählen die cyanogenen Glycoside, die mit einem

Tabelle 1: Abwehrmechanismen der Pflanzen (Zusammengestellt nach BRUNOLD et. al., 1996)

Abwehrmechanismen der Pflanze					
Konstitutive Abwehr		Induzierte Abwehr			
Präformierte strukturelle Barrieren	Präformierte abwehrstoffe	Histologi-sche Strukturen	Hypersensi-tive Strukturen	Biochemi-sche Barrieren	Systemische induzierte Resistenz
Lignin der Zellwände	Cyanogene Glycoside	Erhöhte Lignifizie-rung	Zelltod	Phytoalexine	Transport endogener Signale in die Pflanze
Kutikula	Terpenoide	Tylosen		Induzierte Proteine Chitinase, Glucanase	
	Phenolische Verbindun-gen	Papillenbil-dung			
	Hydroxami-sche Säuren	Hydroxypro- linreiche Zellwandgly- coproteine			
	Antimikrobi- elle Samenprote- ine				

Enzym dem Prinzip des Zweikomponenten-Giftes folgen, die Terpenoide, deren Aktivität auf einem membranlytischen Effekt beruht, die phenolischen Verbindungen, die Enzyme inaktivieren, indem sie sie an Proteine binden und denaturieren, die hydroxamischen Säuren, die als Glycoside freigesetzt werden und eine Abwehrfunktion gegen pilzliche Erreger und Aphiden hervorrufen, und schließlich die antimikrobiellen Samenproteine (Thionine, Zeamatin), die die Keimlinge vor bodenbürtigen Pathogenen schützen (BRUNOLD et al., 1996). Bei der induzierten Abwehr werden strukturelle und biochemische Barrieren nach dem Angriff durch einen Erreger aktiviert, die lokal oder systemisch zu beobachten sind (DUBE, 2001). Die Lignin- und Papillenbildung sowie die hydroxyprolinreichen Zellwandglycoproteine und Tylosen gehören zu den induzierten histologischen Strukturen. Beim Befall durch Mikroorganismen ist eine erhöhte Lignifizierung der Zellwand zu beobachten. Das nach dem Befall neu gebildete Lignin unterscheidet sich in der Zusammensetzung von jenem, das vor der Infektion produziert wurde. Die Abwehrfunktion der erhöhten Ligninbildung beruht auf der mechanischen Verstärkung der Zellwand. Lignin wirkt wasserabstoßend und kann so die Diffusion von pathogenproduzierten

Angriffsenzymen oder Toxinen auf dem Weg zur Zellmembran verhindern. Unpolymerisierte Ligninvorstufen, wie Coniferyl-Alkohol, wirken auf Pilze toxisch (VANCE et al., 1980).

Papillen sind epidermale Zellwandablagerungen, die unmittelbar unterhalb des pilzlichen Penetrationsorgans gebildet werden. Sie bestehen aus Kallose und Lignin. Die hydroxyprolinreichen Zellwandglycoproteine werden nach Verwundung oder Infektion vermehrt produziert (JEUN et al., 2000). Diese Proteine verbinden sich mit Kohlenhydraten, oder mit anderen Zellwandkomponenten und tragen zu der dichten Vernetzung des Zellwandgerüsts bei, so dass der enzymatische Abbau oder die mechanische Durchdringung erschwert wird. Leitgefäße, in denen sich Erreger ausbreiten, können mit Tylose abgedichtet werden und die Erregerausbreitung wird begrenzt. Bei der hypersensitiven Reaktion sterben Zellen an der Infektionsstelle rasch ab und die Ausbreitung des Krankheitserregers wird verhindert (GILCHRIST, 1998). Zu den induzierten biochemischen Barrieren gehören die Phytoalexine und die induzierten Proteine. Die Phytoalexine sind niedermolekulare Verbindungen, die bei der pflanzlichen Abwehr eine Rolle spielen (EL-MODAFAR, et al. 2000). Die Induktion pflanzeneigener Abwehr kann durch Stressfaktoren sowie durch Mikroorganismen und deren Stoffwechselprodukte hervorgerufen werden (TRÄNKER, 1991). Mikrobielle Kulturfiltrate, die keinen direkten antagonistischen Effekt auf die pilzlichen Krankheitserreger hatten, unterdrückten durch induzierte Resistenz obligat biotrophe Pathogene (SCHÖNBECK et al., 1980). WELTZIEN et al. (1987) untersuchten die Wirksamkeit der Extrakte im Pathosystem Wintergerste – *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* in Abhängigkeit von der Induktionszeit und erzielten eine höhere Befallsunterdrückung nach einer Induktionszeit von zwei Tagen. Mikroorganismen, die an Pflanzen appliziert wurden, lösten Abwehrmechanismen in der Pflanze aus, die zur Resistenz der Pflanze gegen verschiedene Pathogene führten (ATTITALLA et al., 2001; DECAL et al., 2000; PRESS et al., 2001). Mikroorganismen, die keine antibiotischen Substanzen bilden oder antagonistisches Potenzial zeigen, wurden an *Cucumis sativus* L. eingesetzt und induzierten Resistenz gegen *Colletotrichum orbiculare* durch Auslösung von Abwehrmechanismen in der Pflanze (MEERA et al., 1995; WEI et al., 1991). PR-Proteine (pathogenesis related proteins,  $\beta$ -1,3-Glucanase, Chitinase) werden nach Pathogenbefall, Stresssituationen und entwicklungsphysiologischen Veränderungen in der Pflanze gebildet (VAN LOON und VAN STRIEN, 1999) und können auch mikrobieller Herkunft sein (SNEH und ICHIELEVICH-AUSTER, 1998; ZHANG und YUEN, 2000). Chitinasen werden von Bakterien der Gattung *Streptomyces* produziert (Exochitinasen), die eine Lysis bei den pilzlichen Hyphen hervorrufen (GUPTA et al., 1995; UENO et al., 1990). Chitin ist ein Bestandteil der Zellmembran vieler Pilze und der Gehäuse verschiedener Lebewesen. Chemisch ist es ein



Polysaccharid, in dessen Molekül Stickstoff enthalten ist, und das durch das Enzym Chitinase zersetzt wird. Kompostextrakte haben in früheren Untersuchungen induzierte Resistenz an verschiedenen Pathosystemen ausgelöst. Im Pathosystem Zuckerrübe – echter Mehltau wurde nach Applikation von Kompostextrakten eine befallshemmende Wirkung festgestellt, die auf der Induktion aktiver, postinfektioneller Resistenzmechanismen beruht (SAMERSKI und WELTZIEN, 1988). ZHANG et al. (1998) stellten nach Behandlung mit Kompostextrakten eine höhere  $\beta$ -D-Glucuronidase-Aktivität an *Arabidopsis thaliana* fest.

Die oben genannten induzierten Abwehrmaßnahmen werden meistens an der Angriffsstelle des Pathogens ausgelöst und dort lokalisiert. Oft lösen aber nekrotisierende Infektionen eine Schutzreaktion aus, die nicht nur an den infizierten Teilen zu finden ist.

## 2.3 Wirt – Erreger - Systeme

### 2.3.1 *Lycopersicon esculentum*

Die Heimat der Tomate liegt in Mittel- und Südamerika. Die Art *Lycopersicon pimpinellifolium* wird für die Wildform der Kultursorten gehalten. Der Name leitet sich von dem aztekischen Wort "tomana", das "anschwellen" bedeutet, ab (KRUG, 1991). Die Tomate gehört zur Familie der Nachtschattengewächse; sie ist einjährig, wärmeliebend und tagneutral. Der Anbau erfolgt in den wärmeren Zonen im Freiland und in den kühleren in Gewächshäusern. Die junge Tomatenpflanze bildet eine Pfahlwurzel aus, die im Laufe des Wachstums verletzt wird und zahlreiche Seiten- und Nebenwurzeln entwickelt. Der Spross besteht aus mehreren aufeinander folgenden Seitensprossen (Stabtomate), während die Wuchsform der Buschtomate Sympodialsprosse mit zwei Blättern bildet. Das Blatt ist unpaarig gefiedert, wobei sich große und kleine Fiederpaare abwechseln. Der Blütenstand wird am Ende des jeweiligen Sprosses gebildet. Die Frucht ist eine Beere, zwei oder mehrkammerig, unbehaart, rot oder gelb gefärbt. Die Karotinfarbstoffe bestimmen die Verteilung der Farbe im Fruchtfleisch und an der Schale (FRITZ und STOLZ, 1989). Tomaten sind frostempfindlich; die Temperatur ist ertragsentscheidend. Optimal ist eine Temperatur von 20–22°C zur Aussaat. Unter 10°C wird das Wachstum der Tomate eingestellt. Bei abwechselnder Trockenheit und Niederschlägen platzen die Früchte leicht. Die taxonomische Klassifikation ist aus der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Taxonomische Klassifikation von *Lycopersicon esculentum* (SITTE et al., 2002)

Reich	<i>Plantae</i>
Unterreich	<i>Chlorobionta</i>
Abteilung	<i>Spermatophyta</i>
Klasse	<i>Magnoliopsida</i>
Unterklasse	<i>Asteridae</i>
Ordnung	<i>Solanales</i>
Familie	<i>Solanaceae</i>
Gattung	<i>Lycopersicon</i>
Art	<i>esculentum</i>

Die Tomate ist eine wichtige Kulturpflanze in Westafrika. Die Aussaat beginnt am Ende der Regenzeit mit einer Bestandsdichte von 0,4 x 1,2m. Die Düngung wird mit organischen Düngern vorgenommen (200–300kg und 4kg Mineraldünger /100m<sup>2</sup>). Die Ernte beginnt 60–80 Tage nach der Aussaat und dauert etwa zwei Monate. Der Ertrag beläuft sich auf 15–20t/ha (Anonymus, 1982). Die wichtigsten Krankheiten in Westafrika sind *Alternaria solani*, *Leveillula taurica*, *Fulvia fulva*, *Rhizoctonia solani*, *Xanthomonas vesicatoria*. An tierischen Schädlingen treten während der Vegetationsperiode *Heliothis armigera* und *Aculops lycopersici* auf. Die chemische Bekämpfung der Mykosen erfolgt mit den Wirkstoffen Zineb, Captafol und Maneb, während gegen Insekten Acephate, Cypermethrin, Fenvalerate und Endosulfan appliziert werden (VAN DAMME, 1983).

### 2.3.2 *Alternaria solani*

*Alternaria solani*, bekannt als *Alternaria solani* Sorauer, *Alternaria porri* (Ell.) Neerg. F. sp. *solani* E. & M. oder *Alternaria dauci* f. sp. *solani* (E. & M.) Neerg. ist ein Pathogen an der Tomate (*Lycopersicon esculentum*) und der Kartoffel (*Solanum tuberosum*) mit weltweiter Verbreitung (ROTEM, 1994) (Abb. 1). Der Krankheitserreger verursacht die größten wirtschaftlichen Schäden in den USA, in Australien, Israel, Afrika und Indien (DATAR und MAYEE, 1982; FONTEM et al., 1999).

Die morphologischen Eigenschaften des Pilzes variieren je nach klimatischen Bedingungen und der Art des Nährmediums. Der Pilz bildet mehrzellige – 3 bis 14 septierte – braune Konidien mit einer Länge von 67–178 µm auf dem Konidienträger. Die Länge des Konidiophoren beträgt 30–200 µm, die Breite des Konidiums 12–25 µm (Abb. 2). Die hohe Variabilität des Pilzes wird auf Heterokaryosis zurückgeführt, also auf mehrere Zellkerne, die sich auch genetisch differenzieren. Hyphenzellen von *A. solani* enthalten 1 bis 9

Zellkerne, außerdem 1 bis 4 in den Konidienträgern und 1 bis 3 in den Konidienzellen. (ROTEM, 1994). *Alternaria solani* bildet braune, dickwandige, runde Chlamydosporen, die einen Durchmesser von 8 – 15 µm haben und die in Ketten, allein oder in Clusters auftreten. Der Pilz überwintert im Boden oder in Pflanzenresten als Konidien, Myzel oder sogar Chlamydosporen (BASU, 1974; PATTERSON, 1991). Die taxonomische Einordnung des Pilzes ist aus der Tabelle 3 zu entnehmen.

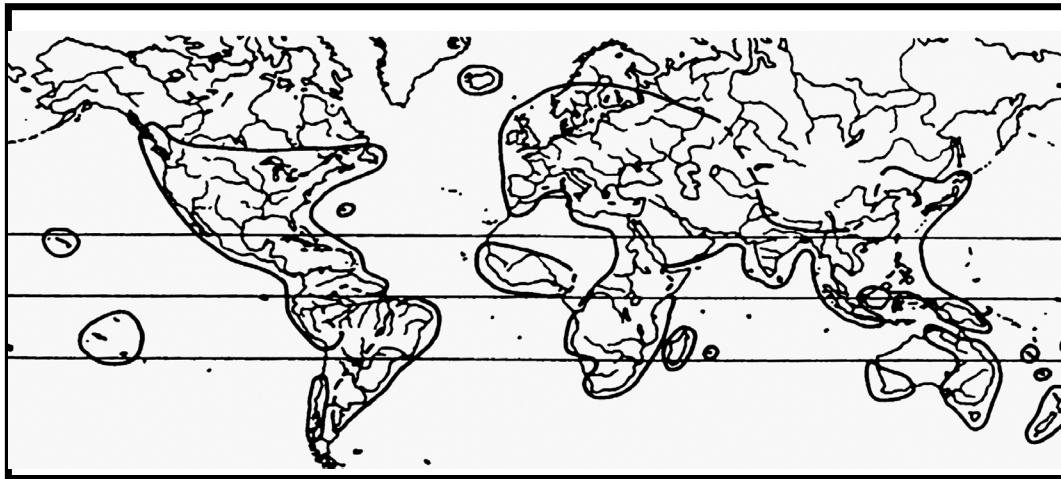


Abbildung 1: Weltweite Verbreitung Klassifikation von *A. solani* (ROTEM, 1994)

Tabelle 3: Taxonomische von *A. solani* (KIFFER und MORELET, 1999)

Reich	<i>Mycotae</i>
Abteilung	<i>Eumycota</i>
Unterabteilung	<i>Deuteromycotina</i>
Klasse	<i>Deuteromycetes</i>
Ordnung	<i>Hyphomycetales</i>
Familie	<i>Dematiaceae</i>
Gattung	<i>Alternaria</i>
Art	<i>solani</i>



Abbildung 2: Konidien von *A. solani* (lichtmikroskopische Aufnahmen)

*A. solani* produziert die Toxine Alternaric acid, 10-deoxyalternaric acid, Zinniol und Solanopyrone-A.. Applikation von Alternaric acid rief bei Tomatenfrüchten und -blättern Läsionen hervor. Bei den anderen Toxinen sind die visuellen Symptome nicht so stark (ABBAS und JOHNSON, 1997). Glukose fördert die Bildung der Konidiophoren in vitro und in vivo, aber behindert die Sporulation. Das Myzel und die Konidien sind sehr resistent gegen Trockenheit und extreme Temperaturen. Bei 88°C überlebte das Myzel für 24 Stunden; bei 58°C die Konidien. Eine Luftfeuchtigkeit von 14 % – 38 % ist ausreichend für das Überleben des Myzels und der Sporen. (ROTEM, 1968). Die Konidiophoren und Konidien sind gegenüber Ozon empfindlich (RICH und TOMLINSON, 1968).

### 2.3.3 Tomate - *A. solani*

Der Pilz befällt die Blätter und seltener den Stängelbereich und die Früchte. Auf den Blättern bilden sich runde, braune Flecken, die eine typische konzentrische Zonierung aufweisen, begleitet von Chlorosen und Blattabfall (siehe Anhang 4a-b). Primär werden die unteren Blätter infiziert, im Anschluss breitet sich der Pilz dann auf die oberen Blattpartien aus (VLOUTOGLOU und KALOGERAKIS, 2000). Ältere Blätter sind empfindlicher als jüngere. Es wird vermutet, dass ältere Blätter einen niedrigeren Sukrosegehalt besitzen, und dass das Alkaloid Solanin die Sporulation von *A. solani* verhindert. Bei 30 Tagen alten Pflanzen war die Konzentration von Solanin in jungen Blättern sechsmal höher als bei älteren (ROTEM, 1994). Am Stängelbereich entstehen nach dem Befall kleinere, langgestreckte Flecken. An den Früchten beginnt der Befall in der Kelchgrube und breitet sich von dort über die Frucht aus. Die Befallsstellen der Früchte zeigen ebenfalls konzentrische Zonierungen (BEDLAN, 1999).

Die Konidien gelangen durch Wind oder Regen auf die Pflanze. Sporen von *A. solani* werden auch von Insekten übertragen, die somit zur Infektion beitragen. In der Mitte von Läsionen wurden Stiche von Insekten beobachtet (HEUBERGER und DIMOND, 1941). Die Sporen keimen bei günstigen Bedingungen, d.h. bei 95 % RH oder Wassertropfen und bei etwa 20–28°C, innerhalb von drei Stunden aus. Ein Konidium kann an mehreren Stellen bzw. zwischen zwei Septen auskeimen, was die Penetration und Infektion erhöht (BASHI und ROTEM, 1976) (siehe Anhang 8n-s,x,u). Die Penetration erfolgt durch Wunden, Stomata oder direkt durch die Kutikula und ist mit der Ausscheidung von Toxinen verbunden. Vorübergehende Welke während des Tages fördert die Infektion. Die Keimschläuche penetrieren in das Mesophyll, die Pflanzenzellen werden degradiert, das Mesophyll schrumpft, so entstehen Zonierungen und nekrotische Flecken. Anschließend wird das Myzel gebildet, das unter günstigen Bedingungen Konidiophoren bildet, die wiederum die Konidien tragen (LANGSDORF et al., 1990).

Eine gestörte Photosynthese erhöht die Sporulation von *A. solani* an der Tomate (COHEN und ROTEM, 1970). Sporulation findet an der Tomate aufgrund der hemmenden Wirkung des Tageslichtes in der Nacht statt. Tageslicht zwischen 300 nm und 500 nm scheint verantwortlich für die Verhinderung der Auskeimung von Sporen zu sein (STEVENSON und PENNYPACKER, 1988). LUKENS und HORSFALL (1969) berichteten, dass bei Dunkelheit die Sporen aus den Konidienträgern innerhalb von 17 Stunden voll ausgebildet sind. Konidiophoren werden als Verzweigungen von den Hyphenzellen geformt (siehe Anhang 8b,g). Die Konidien sind am Anfang kugelig und erreichen innerhalb von 150 Minuten die endgültige Form (siehe Anhang 8t,v). Konidien können auch penetrieren, ohne Symptome hervorzurufen. Erst wenn die Resistenz des Organs nachgibt (z.B. hohe Zuckergehalte), bilden sich die ersten Symptome.

Es wird vermutet, dass Stickstoff einen hemmenden Einfluss auf den Krankheitserreger hat. Stickstoff verlängert die meristematische Aktivität und führt zu einer verspäteten Seneszenz. Die Applikation von Kaliumdünger verzögerte ebenfalls den Befall mit *A. solani*. Die Ernte ist ein zusätzlicher Stressfaktor und erleichtert die Pathogenität, da Nährstoffe von den Blättern in die Früchte transportiert werden. Die Kohlenhydrate werden von den befallenen Blättern in die gesunden transportiert, wodurch der Befall mit *A. solani* gefördert wird (SURYAVANSHI et al., 2000).

Die äußerlichen Symptome an der Tomate werden von den ausgeschiedenen Toxinen des Pilzes hervorgerufen. Alternaric acid ist für die Blattläsionen, Chlorosen und Nekrosen verantwortlich (MAIERO et al., 1991). Die typischen Symptome von *A. solani* sind unter kontrollierten Bedingungen nur selten zu beobachten, da sie im Feld durch den Wechsel

von Licht, Dunkelheit, Strahlung, Temperatur und Feuchtigkeit induziert werden. Deshalb entsprechen meistens die Symptome bei Versuchen nicht denen, die im Feld hervorgerufen werden. Der Befall mit *A. solani* an der Tomate ruft induzierte Resistenz hervor, und es werden induzierte Proteine gebildet. Nach der Infektion wurden in den Blättern eine erhöhte  $\beta$ -1,3-Glucanase und Chitinase-Aktivität beobachtet (KOGEL und VON ALTEN., 2001).

### Bekämpfungsmaßnahmen

Für den Anbau sind widerstandsfähige Sorten zu verwenden (ZHANG et al., 2002). Die Evaluierung der Sorten erfolgt teilweise anhand der Symptome nach Applikation mit toxischen Filtraten, isoliert aus *A. solani* (CAPOTE et al., 2001). Tomaten müssen in trockenen Perioden gepflanzt werden, Windschutz soll gewährleistet sein, eine Fruchtfolge von drei Jahren sollte eingehalten werden. Die Vernichtung der Pflanzenreste nach der Ernte ist ebenfalls notwendig. Bekämpfungsmöglichkeiten mit Fungiziden auf der Basis von Mancozeb und Benomyl erzielten nahezu eine volle Unterdrückung des Befalls (SAWANT und DESAI, 2001). Biologische Pflanzenschutzmaßnahmen konnten den Befall erheblich reduzieren. Eine antagonistische Wirkung gegen *A. solani* zeigten die Pilze *Trichoderma viride* und *Trichoderma harzianum* (BABU et al., 2000; RODRIGUEZ et al., 2000) sowie *Streptomyces*-Arten (EL-ABYAD et al., 1996). Behandlungen mit Salicyl Acid konnten den Befall signifikant reduzieren (MATTHEW et al., 1999). Applikationen von pflanzlichen Extrakten aus mehreren Familien erzielten eine starke Hemmung des Pathogens an Tomatenpflanzen, hervorgerufen durch die toxischen Effekte des Substrats (BABU et al., 2000) oder durch die Auslösung von Abwehrmechanismen in der Pflanze (THIRIBHUVANAMALA et al., 2001). Eine ausgewogene Nährstoffversorgung der Pflanzen trägt zur Unterdrückung des Krankheitserregers bei (SINGH et al., 2001).

### **2.3.4 *Manihot esculenta* L. Crantz**

Maniok ist in tropischen Gebieten für über 500 Millionen Menschen eine Pflanze mit wirtschaftlicher Bedeutung (BEST und HENRY, 1992). Als Kohlenhydratquelle nimmt Maniok den sechsten Platz weltweit ein (MANN, 1997) und den vierten Platz in den Tropen und Subtropen. Die durchschnittliche Produktion im Zeitraum 1994 bis 1996 betrug 166 Millionen t/Jahr. 57 % wurden als menschliche Nahrung verwendet, 32 % als Tierfutter und für die industrielle Verarbeitung. Afrika erntet 51 % der Gesamtproduktion, Asien 29,4 % und Lateinamerika 19,3 % (BELLOTTI et al., 1999). Die Heimat des Manioks ist Südamerika (OLSEN und SCHAAL, 1999). Die Verbreitung über die tropischen Regionen der Welt hinaus

erfolgte hauptsächlich durch die Portugiesen. Heute wird Maniok vorwiegend in Westafrika, Indonesien und Brasilien angebaut.

Maniok gehört zu der Familie der Wolfsmilchgewächse (*Euphorbiaceae*). Maniok ist eine mehrjährige Pflanze, die unter günstigen Standortverhältnissen einen kräftigen, 2–3 cm dicken, verholzenden Stängel mit unterschiedlicher Verzweigung entwickelt und eine Höhe von 3–4 m erreichen kann. Die langstieligen Blätter bestehen aus 3 bis 8 gefiederten Teilen. Die langgestreckten, kaum Wurzelverzweigungen aufweisenden Knollen entwickeln sich am Stängelgrund durch sekundäres Dickenwachstum einiger Adventivwurzeln (FRANKE, 1997). Ausgewachsen erreichen sie eine Länge von 30–50 cm, einen Durchmesser von 5–10 cm und eine Masse von 2–4 kg. In allen Teilen der Maniokpflanze sind die Gefäße mit Milchsaft gefüllt, der das Glycosid Linamarin enthält, aus dem durch das Enzym Linase neben Glukose und Azeton auch die giftige Blausäure abgespalten wird. Die taxonomische Klassifikation von *Manihot esculenta* ist aus der Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Taxonomische Klassifikation von *Manihot esculenta* (SITTE et al., 2002)

Reich	<i>Plantae</i>
Unterreich	<i>Chlorobionta</i>
Abteilung	<i>Spermatophyta</i>
Klasse	<i>Magnoliopsida</i>
Unterklasse	<i>Rosidae</i>
Ordnung	<i>Euphorbiales</i>
Familie	<i>Euphorbiaceae</i>
Gattung	<i>Manihot</i> P. Mill.
Art	<i>esculenta</i>

Maniok gedeiht am besten in einem warmen, humiden Klima mit einer Jahresmitteltemperatur von über 20°C. Maniok zeichnet sich durch seine hohe Anpassungsfähigkeit an die jeweiligen Wasserverhältnisse aus. Er übersteht längere Trockenperioden und wirft zur Minderung der Transpiration in Trockenzeiten die meisten Blätter ab. Beschattung beeinträchtigt die Stärkebildung und den Gesamtertrag. Maniok wächst in allen Bodenarten und erreicht gute Erträge in tiefgründigen, lockeren Böden mit einem hohen Gehalt an Nährstoffen und an organischer Substanz. Maniok erschöpft nach zwei- oder mehrmaligem Anbau den Boden, und die Erträge werden dann deutlich geringer (REHM, 1989).

Zu den wichtigsten Pflanzenkrankheiten zählen die Mosaikvirose (ACMV), die *Cercospora*-Blattflecken, *Xanthomonas campestris* var. *cassavae* und die Anthraknose (*Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *manihotis*) (MAHUNGU, et al., 1994). Die Erntezeit ist von der Sorte und dem Anbaugebiet abhängig. Frühe Sorten erreichen die Knollenreife bereits nach sechs Monaten, während andere bis zu zwei Jahre benötigen. Der Erntetermin wird erreicht, wenn die Blätter vergilben und abfallen, verbunden mit einer Braunfärbung der grünen Stängelteile. Die Durchschnittserträge erreichen etwa 50 bis 100 dt/ha.

### **2.3.5 *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) f. sp. *manihotis* Chev.**

*Colletotrichum gloeosporioides* ist ein Krankheitserreger, der an mehreren Pflanzen vorkommt und weltweit, jedoch besonders in den Tropen und Subtropen, verbreitet ist. Der Pilz befällt wirtschaftlich wichtige Kulturpflanzen — unter anderem Zitrusarten, Mango, Yam, Avocado, Maniok sowie Heidelbeeren, Erdbeeren und die Lupine — und verursacht jährlich große Verluste (HINDORF, 2000; SMITH, 2002). Warmes, feuchtes, tropisches Klima fördert das Wachstum und die Vermehrung des Erregers. Der Pilz bildet zylindrisch hyalin ein- und zweizellige Sporen, die ein granulöses Plasma enthalten. Sie sind mittelgroß bis groß (10–40 x 3–8µm). Ein optimales Wachstum des Myzels wird bei 25°C nach 7 Tagen Kulturdauer auf Hafermehl–Agar erreicht (VAN DER BRUGGEN und MARAITE, 1987). Auf in-vitro-Kulturen bildet der Pilz orangefarbene Perithezien. Ferner entstehen die Konidien in flachen, nach oben offenen Acervuli (Konidenlager) (Abb.3). Die Acervuli sind mit Borsten besetzt. Die Form und Größe der Acervuli variieren, sie können flach, krusten-, linsen- oder pustelförmig sein und erreichen einen Durchmesser von 40µm bis über 1mm. Die Konidien entstehen akrogen nacheinander und lösen sich leicht vom Träger (VON ARX, 1957). Die taxonomische Klassifikation ist aus der Tabelle 5 zu entnehmen.



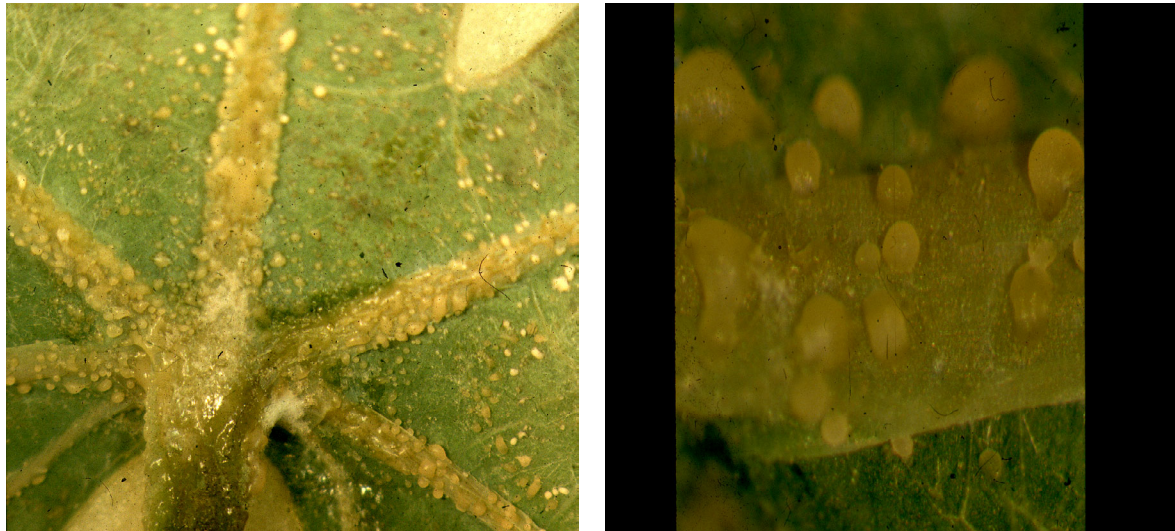


Abbildung 3: Bildung von Acervuli an Maniokblättern

Tabelle 5: Taxonomische Klassifikation von *C. gloeosporioides* (KIFFER und MORELET, 1999)

Reich	<i>Mycotae</i>
Abteilung	<i>Eumycota</i>
Unterabteilung	<i>Deuteromycotina</i>
Klasse	<i>Coleomycetes</i>
Ordnung	<i>Melanconiales</i>
Familie	<i>Melanconiaceae</i>
Gattung	<i>Colletotrichum</i>
Art	<i>gloeosporioides</i> f.sp. <i>manihotis</i>

### 2.3.6 Maniok – *Colletotrichum gloeosporioides*

Im Jahr 1989 wurde in Zaire erstmals über die Krankheit berichtet und sie wurde als stem-tip-dieback (STDB) bezeichnet. Untersuchungen in Ghana konnten das Pathogen der Gattung *Colletotrichum* zuordnen (MOSES et al., 1996). Der Erreger der Anthraknose an Maniok ist der Pilz *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. f. sp. *manihotis* mit der Hauptfruchtform *Glomerella cingulata*. Der Pilz verursacht Blattflecken, Karzinome an den Stängeln sowie Deformationen im Sprossbereich (OFORI und HAHN, 1991). Die Karzinome blockieren die Translokation von Nährstoffen, was den Blattfall, reduziertes Wachstum und geringere Erträge zur Folge hat. Die Verbreitung der Sporen erfolgt meistens über Regen und Wind (PRUSKI et al., 2000). Die Konidien gelangen auf die Blattoberfläche oder Stängel der Pflanze und keimen in Wasser aus. Von KUO (1999) wird vermutet, dass die

Auskeimung 20 Minuten nach dem Auftreffen der Sporen auf der Blattoberfläche stattfindet, während FLAISHMAN et al. (1995) von einer Zeitdauer von 2 Stunden berichten. Nach der Keimung erfolgt die Bildung der Appressoria. LIU und KOLATTUKUDY (1998) sowie KIM et al. (2000) zeigten, dass die Appressoria an Mangoblättern durch chemische Signale aus der Wachsschicht des Wirtes und der Ethylenkonzentration induziert werden. DEAN (1997) wies nach, dass Komponenten der Blattoberfläche die Bildung von Appressoria stimulieren.

Die Appressoria können direkt an dem Konidium oder, was häufiger der Fall ist, an kurzen Seitenästen der Keimschläuche entstehen. Die Appressoria, zunächst hyalin, bekommen eine schwarze Farbe wegen des gebildeten Melanins, das die Appressoriawand verstärkt. ESTRADA et al. (2000) berichteten, dass die Anzahl der gebildeten Appressoria sowie die Entstehung von Keimschläuchen von der Temperatur abhängig ist. An Mangoblättern wurden bei 30°C mehr melanisierte Appressoria gebildet, während bei 25°C die Frequenz der entstandenen Keimschläuche viel höher lag als bei 20°C und 30°C. Mit dem Keimschlauch penetriert der Pilz in die Pflanze und kolonisiert pflanzliches Gewebe, so dass sich Läsionen bilden.

Die Penetration der Kutikula erfolgt vermutlich durch drei Mechanismen: das direkte mechanische Eindringen, das Ausscheiden von Kutinasen oder eine Kombination aus beidem. *C. gloeosporioides* produziert Enterase, die die Kutikula degradiert und das Eindringen ermöglichen (PRUSKY et al., 2000). PACUMBABA (1988) berichtet zudem, dass die Penetration durch Wunden oder Insektenstiche stattfindet, weshalb auch die Symptome erst sehr spät in der Vegetationsperiode auftreten. Das wachsende, kräftige septierte Myzel verdichtet sich an bestimmten Stellen und die Hyphen orientieren sich zur Substratoberfläche. Dadurch üben sie auf die Epidermisaußenwand und die Kutikula einen Druck aus. Diese werden aufgerissen, wobei sich unter der Epidermis die Acervuli bilden. Bei hoher Feuchtigkeit entstehen zahlreiche Konidien, die sich über den Acervuli in orangeroten Tröpfchen sammeln (siehe Anhang 7a-e).

Folgende Mechanismen werden nach der Penetration des Pilzes ausgelöst: Die Zellwand wird braun und lignifiziert, das Gewebe um der Penetrationsstelle wird nekrotisiert. Die Epidermis reagiert hypersensitiv, was auf der Akkumulation von Phytoalexinen in den benachbarten Zellen beruht (BAILEY, 1974). Das Myzel bleibt in den nekrotischen Bereichen, ist aber aktiv und kann verletzte Stellen befallen. Die Infektion beginnt in der Regenzeit und entwickelt sich in deren Verlauf, bis zum Beginn der Trockenperiode (ONYEAGBA et al., 1988). Ältere Pflanzen sind anfälliger (PACUMBABA, 1988). VAN DER BRUGGEN et al. (1990) berichteten von der Anfälligkeit der Pflanze in Abhängigkeit von der

Temperatur. Maniokpflanzen waren resistenzfähiger gegen *C. gloeosporioides* bei 35°C im Vergleich zu einer Temperatur von 15°C oder 25°C. Die Läsionen hatten bei 25°C einen größeren Durchmesser als bei 35°C und der Erreger verbreitete sich schneller bei 15°C als bei den anderen Temperaturen. Die Pathogenität des Pilzes korreliert mit dem pH-Wert und der Ammoniaksekretion des Pilzes. Der Pilz scheidet Ammoniak in die Gewebe des Wirtes aus und erhöht den pH-Wert, was die enzymatische Sekretion anregt und die Virulenz erhöht (PRUSKI et al., 2001).

Die Ausbreitung der Krankheit an der Pflanze wird in Zusammenhang mit dem Insekt *Pseudotheraptus devastans* Dist. (Blattwanze) gebracht (MUIMBA et al., 1982; BOHER et al., 1983; FOKUNANG et al., 2000). Stiche des Insektes erleichtern das Eindringen des Pathogens und ermöglichen eine schnellere Ausbreitung in der Pflanze. DENGEL (1981) berichtete von der Anthraknose im Süden Togos und konnte nach Untersuchungen feststellen, dass diese durch Stiche von Blattwanzen erleichtert wurde. Im Bereich der Penetration wurde eine erhöhte Peroxidase-Aktivität beobachtet. Die dunkelbraunen Appressoria von *C. gloeosporioides* sind fähig, noch zwei Monate lang Hyphen zu bilden. Pflanzenreste auf dem Feld sind ein wichtiges Inokulum für die Infektion der Pflanzen und sollten entsorgt werden (MUIMBA, 1984). *Colletotrichum* sp. haben die Fähigkeit, als dormante Appressoria zu überleben (WALLER, 1992).

Resistente Manioksorten scheinen das effektivste Mittel gegen die Pflanzenkrankheit zu sein (FOKUNANG et al., 2001). FOKUNANG et al. (2002) untersuchten die Wirkung von Pflanzenextrakten aus unterschiedlichen Manioksorten gegen *Colletotrichum gloeosporioides* in vitro und stellten heraus, dass die Manioksorten, deren Extrakte einen hohen suppressiven Effekt in vitro hervorriefen, die Krankheit auch unter Feldbedingungen erfolgreich unterdrücken konnten. Des Weiteren untersuchte AMUSA (2000) die Wirkung von toxischen Metaboliten des Pilzes in vitro und an der Pflanze, um ein Screening der Manioksorten gegen *C. gloeosporioides* zu ermöglichen. Der Krankheitserreger wird von den Wirkstoffen Benomyl, Captan, Propiconazole und Tebuconazole erfolgreich bekämpft. In experimenteller Erprobung steht auch die Verwendung von Selbstinhibitoren, die von *Colletotrichum* sp. produziert werden und das Auskeimen der Sporen hemmen. Apathogene Isolate von *C. gloeosporioides* wurden an *Stylosanthes guianensis* appliziert. Sie erhöhten die  $\beta$ -1,3-Glucanase- und Chitinase-Aktivität und reduzierten den Befall mit dem Erreger (BROWN und DAVIS, 1992).

## 2.4 *Ipomoea batatas* (L.) Lam.

Die Batate (Süßkartoffel) ist eine bedeutende Knollenfrucht in den Tropen und Subtropen mit hoher ernährungsphysiologischer Bedeutung (BONSI et al., 1998; OKUNO et al., 1998). Sie ist eine einjährige Kurztagspflanze. Bei einer mittleren Temperatur von 22°C beträgt die Vegetationsperiode etwa 3 bis 5 Monate. Nährstoffreiche, lockere Böden mit einem pH-Wert von 5,8 bis 6 sind für den Anbau geeignet. Eine gute Wasserversorgung ist nur im Frühstadium notwendig. Als Knollenfrucht benötigt die Batate hohe Nährstoffmengen (FRANKE, 1997). Diese werden vor dem Auspflanzen und als Kopfdünger nach beginnendem Wachstum verabreicht. Folgende Düngermengen werden empfohlen: N 35–60 kg/ha als Ammoniumsulfat, P 20–45 kg/ha als Superphosphat und K 70–140 kg/ha als schwefelsaures Kalium. Die Vermehrung erfolgt vegetativ durch das Auslegen ganzer oder geschnittener Knollen, das Auspflanzen bewurzelter Sprosse und die Stecklingsvermehrung. (REHM, 1989) Die taxonomische Klassifikation von *Ipomoea batatas* ist aus der Tabelle 6 zu entnehmen. Der größte Schaden an den Knollen wird durch die Larven der Batatekäfer *Cylas formicarius* F. und *Cylas brunneus* F. verursacht. Wichtige Mykosen sind *Fusarium oxysporum* f. sp. *batatas*, *Fusarium lateritium* (KIHURANI et al., 1993), *Sphaceloma batatas* (DUKES et al., 1994; SAJISE und CAPUNO, 1990) und *Alternaria bataticola* (LOPES und BOITEUX, 1994). Die Virosen der Batate sind die Mosaikkrankheit und das Federmosaik. Die Knollenreife ist erreicht, wenn die Blätter und Ranken eine gelbe Färbung annehmen und allmählich absterben. Die Ernte beträgt je nach Sorte 20–30 t/ha und etwa 12–19 t/ha in Westafrika (OTOO et al., 1998). Die gekochten Blätter werden von einigen Völkern heutzutage für pharmazeutische Zwecke verwendet, insbesondere als Medikamente gegen Tumore in Mund und Hals. Des Weiteren werden die Blätter oder der Pflanzensaft gegen Asthma und Fieber verwendet (HARTWELL, 1971).

Tabelle 6: Taxonomische Klassifikation von *Ipomoea batatas* (SITTE et al., 2002)

Reich	Plantae
Unterreich	Chlorobionta
Abteilung	Spermatophyta
Klasse	Magnoliopsida
Unterklasse	Asteridae
Ordnung	Solanales
Familie	Convolvulaceae
Gattung	<i>Ipomoea</i> L.
Art	<i>batatas</i>

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Herkunft und Herstellung der Kompostextrakte

Zur Herstellung der Kompostextrakte wurden Komposte (Ausgangsmaterial: organischer Haushaltsmüll) aus Westafrika verwendet. Die Zusammensetzung des kompostierten Materials aus Conakry und Timbi madina sah folgendermaßen aus: fermentierte Substanzen (88 % – 92 %), Plastik (1,1 % – 2,3 %), Eisen (2,5 % – 3,25 %), Papier (2,1 % – 2,8 %) und andere Substanzen (1,1 % – 2,35 %). Das Material aus Lome und Tsevie bestand aus Haushaltsmüll (Essensreste, Gemüseabfälle), Pflanzenresten (Blätter), *Panicum maximum* und Geflügelmist. Das kompostierte Material aus Senegal (Diocoul, Castor) wiederum setzte sich zusammen aus: Essensresten, abgefallenen Blättern von Bäumen und Blumen sowie Küchenresten (Früchte, Schalen von Gemüsen und Früchten, Fischskeletten, Tierhaut, Vogelfedern und Eierschalen).

Die Kompoststationen befanden sich in Guinea (Conakry, Timbi madina), Togo (Lome, Tsevie) und Senegal (Castor, Diocoul). Während der dreijährigen Durchführung der Untersuchungen wurden von jedem afrikanischen Standort zu unterschiedlichen Zeiten gefertigte Komposte verwendet. Das Herstellungsdatum der Komposte ist aus Tabelle 7 zu entnehmen. Das Datum in den Überschriften der Tabellen und Abbildungen im Ergebnisteil zeigt an, wann die Versuche durchgeführt wurden, so kann der Zusammenhang zwischen der Wirksamkeit der Extrakte und dem Kompostalter hergestellt werden.

Tabelle 7: Herstellungsdatum der verwendeten Komposte zur Versuchsdurchführung

Komposte	Datum	Komposte	Datum	Komposte	Datum
Diocoul1	11.1999	T. madina1	05.2000	Lome1	05.2000
Diocoul2	06.2000	T. madina2	10.2000	Lome2	10.2000
Castor1	07.1999	Conakry1	10.1999	Lome3	07.2001
Castor2	12.2000	Conakry2	07.2000	Tsevie1	05.2000
Castor3	01.2002	Conakry3	11.2000	Tsevie2	07.2001
				Tsevie3	02.2002

Zur Gewinnung der Extrakte wurde 1 Teil Kompost mit 2,5 bis 15 Teilen Leitungswasser in offenen Glasgefäßen überschichtet (V/V) und nach anfänglichem Durchmischen unbewegt bei Raumtemperatur belassen oder bis zur Extraktion einmal täglich umgerührt (Abb. 4). Nach einer Extraktionszeit von 1 bis 15 Tagen wurde das Wasser-Kompost-Gemisch durch ein Baumwolltuch abfiltriert. Zur Untersuchung der Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Temperatur während der Extraktionszeit wurden die Kompost-Wasser-Gemische jeweils 20°C, 30°C und 35°C ausgesetzt. Kompostextrakte wurden mit den folgenden Zusatzstoffen vor oder nach der Herstellung der Extrakte in unterschiedlichen Konzentrationen angereichert: Xanthan Gum (0,15 % – 0,8 %) (Keltrol F, Monsanto) (X.), Zellulose (0,15 % – 0,8 %) (Ionenaustauscher, SERVA) (Z.), Alginat (0,15 % – 0,5 %) (Sodium Alginate, PH.EUR., Manuacol DH, Monsanto) (A.), Neem (0,5 %) (Neem Azal – T/S, Trifolio – M, 040397), Zucker (0,5 %) (vor und nach der Herstellung der Extrakte), Hefeextrakt (0,5 %) (Sigma chemical company) und Kombinationen Alginat + Xanthan und Alginat + Xanthan + Zellulose.

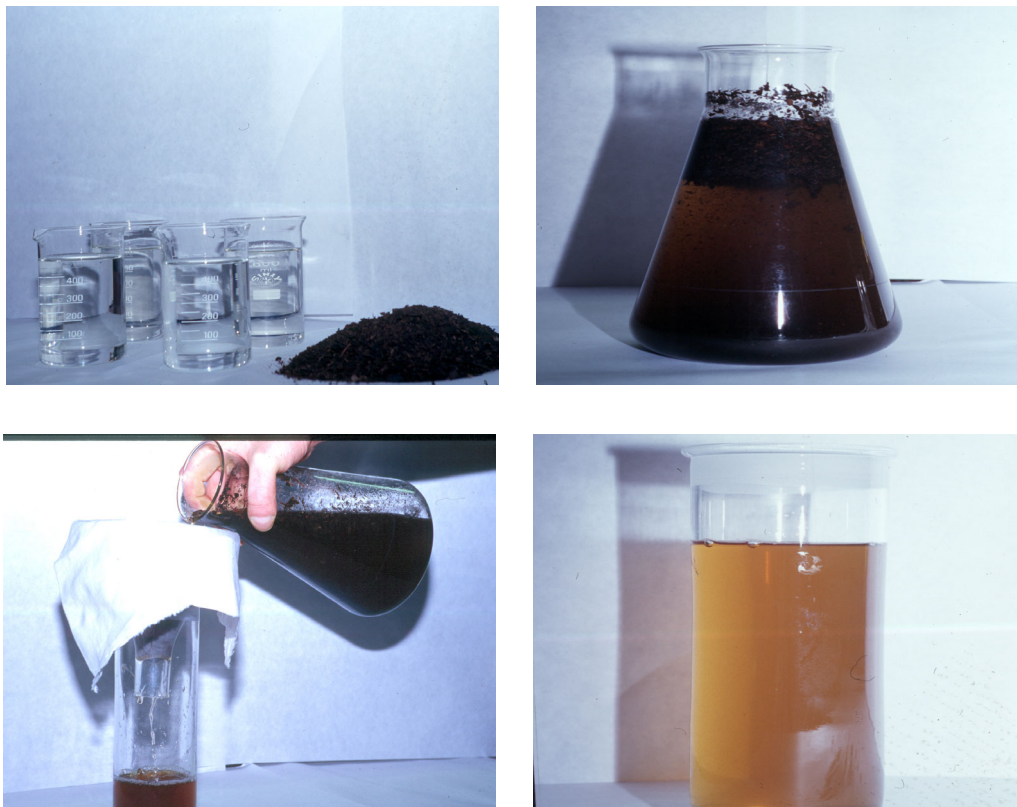


Abbildung 4: Kompost und Wasser vor der Überschichtung (oben links), Kompost-Wasser-Gemisch (oben rechts), Abfiltration des Gemisches (unten links), wässriger Kompostextrakt (unten rechts)

### 3.2 In-vitro-Kultur der Pathogene

Der Pilz *A. solani* wurde bei 20°C im Nährmedium (SNA, siehe Anhang) angezogen, und zwar 24h in einem Hell-Dunkel-Rhythmus 12h/12h (UV-Licht) und anschließend nur in der Dunkelheit (ROTEM, 1994). Zur Förderung der Konidienbildung wurden die Petrischalen ohne Parafilm inkubiert. Der Erreger *C. gloeosporioides* wurde aus befallenen Maniokpflanzen in Westafrika, Togo isoliert. Der Pilz wurde auf einem PDA-Nährmedium in einem Hell-Dunkel-Rhythmus 12h/12h und 20°C angezogen.

### 3.3 Kultur der Versuchspflanzen

Für die Extraktversuche wurden unter Gewächshausbedingungen Tomatenpflanzen (Sorte St. Pierre, Xina, Rheinlandsruhm), Maniokpflanzen und Batatepflanzen (Sorte H-20, Nadang) in einem Topfsubstrat (Typ C 400) und bei einer Temperatur von 22-30 °C angezogen. Dabei wurden Kunststofföpfe mit einem Durchmesser von 18-26 cm verwendet. Die Pflanzen wurden nach Bedarf gegossen und einmal pro Woche mit Kristalon (NPK mit Magnesium, 19+6+20+3) gedüngt.

### 3.4 Untersuchung zur Wirksamkeit der Extrakte an abgetrennten Blättern und an Kulturpflanzen

Bei den Versuchen an abgetrennten Blättern und an Kulturpflanzen wurde der Einfluss der Extraktionsbedingungen auf die Wirksamkeit der Extrakte gegen die Pathogene untersucht. Des Weiteren wurde die Wirksamkeit in Abhängigkeit von der Herkunft der Extrakte, dem Kompostalter, der Induktionszeit und der Zugabe von Formulierungshilfsstoffen getestet. Untersuchungen zu den Wirkmechanismen erfolgten mittels Bestimmung der Enzymaktivität und Reisolation der Mikroflora aus der Phyllosphäre nach Extraktapplikationen (Tab. 8). Die Fungizidbehandlung wurde mit "Saprol Neu" (Wirkstoff: Triforine) vorgenommen.

#### 3.4.1 Wirksamkeit an abgetrennten Tomatenblättern

Tomatenblätter wurden von den sich im Blühstadium befindlichen Pflanzen der Sorte Xina und Rheinlandsruhm entnommen und mit der Blattunterseite in Petrischalen (25 x 25 cm) ausgelegt. Die Blätter wurden mit Kompostextrakten tropfnass besprüht und nach einer definierten Induktionszeit (1–3 Tage) mit einer Suspension von *A. solani* ( $3 \times 10^3$  Konidien/ml) mittels einer Handspritze künstlich inokuliert. Feuchtes Filterpapier verdeckte die obere und die untere Fläche der Petrischale zur Erhaltung einer hohen Luftfeuchtigkeit.

Tabelle 8: Durchgeführte Untersuchungen an abgetrennten Tomatenblättern, Tomatenpflanzen, Maniok und an der Batate

	abgetrennte Tomatenblätter	Tomatenpflanzen	Maniok	Batate
Untersuchungen zur Wirksamkeit in Abhängigkeit von:				
Herkunft der Komposte	+		+	
Konzentration Kompost – Wasser	+	+	+	
Extraktionszeit		+		
Temperatur während der Extraktionszeit		+		
Häufigkeit des Umrührens des Kompost-Wasser- Gemisches während der Extraktionszeit		+	+	
Induktionszeit	+			
Kompostalter	+		+	
Zugabe von Formulierungshilfsstoffen		+	+	
Einfluss der Applikation der Extrakte auf:				
Enzymaktivität		+		+
Reisolation von der Blattfläche		+		+
Frisch-Trockenmasse- Bestimmung		+		+
Pflanzenverträglichkeit		+		+

Die Petrischalen wurden bei 20 – 22°C in der Dunkelheit inkubiert. Der Versuch wurde mit 5 bis 10 Wiederholungen (pro Wdh. ein Blatt) je Variante ausgeführt. Die Auswertung erfolgte 7 Tage nach der künstlichen Inokulation durch die Ermittlung der befallenen Blattoberfläche (Tab. 9). Hierbei stand folgende Fragestellung im Vordergrund: Wie steht es um die Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Konzentration Kompost – Wasser, von der Herkunft, der Induktionszeit und dem Kompostalter?



Tabelle 9: Boniturschema für die befallene Blattoberfläche an der Tomate

Boniturstufen	Boniturschema
1	kein Befall
2	1 – 10 % der Blattoberfläche befallen
3	11 – 25 % der Blattoberfläche befallen
4	26 – 50 % der Blattoberfläche befallen
5	51 – 75 % der Blattoberfläche befallen
6	> 75 % der Blattoberfläche befallen

### 3.4.2 Wirksamkeit an Tomatenpflanzen

Die fertigen Kompostextrakte wurden mittels einer Handspritze auf die Tomatenpflanzen der Sorten St. Pierre oder Rheinlandsruhm tropfnass appliziert. Nach einer Induktionszeit von ein bzw. zwei Tagen wurden die Pflanzen im Blühstadium mit einer Suspension ( $3 \times 10^3$  Konidien/ml) mittels einer Handspritze künstlich inokuliert. Die Pflanzen standen nach der Inokulation für 48 Stunden in der Klimakammer. Die dortigen Bedingungen entsprachen während der Infektion einer 95%igen Luftfeuchtigkeit, 25°C am Tage und 23°C in der Nacht und einem Hell-Dunkel-Rhythmus von 14 zu 10 Stunden. Zur Aufrechterhaltung einer nahezu 100%igen Luftfeuchtigkeit wurden die Tomatenpflanzen 24h lang mit Polyethylentüten abgedeckt. Anschließend kamen sie ins Gewächshaus. Die Auswertung des Befalls erfolgte 7 Tage nach der künstlichen Inokulation durch Schätzen des Blattflächenbefalls (Tab.9) pro Blattetage und der Befallshäufigkeit für die unteren 5 Blattetagen. Die Versuche wurden mit 5 Wiederholungen (Pflanzen) pro Variante durchgeführt. Folgende Fragestellungen wurden untersucht: Die Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Häufigkeit des Umrührens des Kompost-Wasser-Gemisches während der Extraktionszeit, von der Temperatur während der Extraktionszeit, der Länge der Extraktionszeit, der Konzentration Kompost – Wasser und der Zugabe von Formulierungshilfsstoffen.

### 3.4.3 Ad-planta-Versuche mit Bakterien, isoliert aus den Extrakten gegen *A. solani*

Bakterien, isoliert aus Kompostextrakten, wurden in vitro (Kalzium-Agar, siehe Anhang) angezogen und zur Suspensionsherstellung präpariert. Drei verschiedene Bakterien wurden als Suspension  $2 \times 10^8$  Sporen/ml an Tomatenpflanzen mittels einer Handspritze appliziert. Nach zwei Tagen wurden die Pflanzen mit *A. solani* inokuliert. Die Auswertung des Befalls erfolgte 7 Tage nach der künstlichen Inokulation.

#### 3.4.4 Wirksamkeit an Maniok (abgetrennte Blätter)

Maniokblätter aus den unteren Blattetagen der Pflanze wurden entnommen und mit der Blattunterseite in Schalen (25 x 25 cm) ausgelegt. Die Blätter wurden mit den Extrakten tropfnass besprüht und nach einer definierten Induktionszeit mit einer Suspension von *C. gloeosporioides* ( $10^3$  Konidien/ml oder  $3 \times 10^5$ ) mittels einer Handspritze künstlich inokuliert. Zur Erhaltung einer hohen Luftfeuchtigkeit verdeckte feuchtes Filterpapier die obere und untere Fläche der Schale. Die Schalen wurden bei 30°C in der Dunkelheit inkubiert. Sieben Tage nach der Inokulation wurden Blattstücke mit einem Korkbohrer (N° 6) nach dem Zufallsprinzip ausgestochen (Abb.5). Der Versuch wurde mit 30 Wiederholungen (6 Wdh. je Blattstück) pro Variante ausgeführt. Die Auswertung erfolgte, indem die Anzahl der gebildeten Acervuli pro cm<sup>2</sup> Blattoberfläche ermittelt wurde. Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt: Die Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Konzentration Kompost – Wasser, der Häufigkeit des Umrührens des Kompost-Wasser-Gemisches während der Extraktionszeit, des Kompostalters, der Länge der Extraktionszeit und der Zugabe von Formulierungshilfsstoffen.

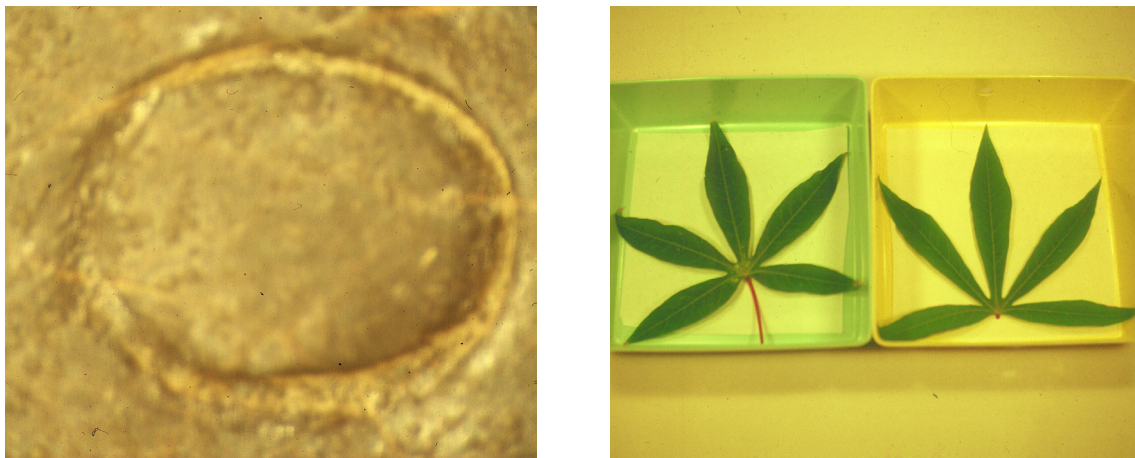


Abbildung 5: Blattbereich ausgestochen mit einem Korkbohrer zur Auswertung der gebildeten Acervuli (links); Petrischalen mit abgetrennten Maniokblättern (rechts)

### 3.5 Mikrobielle Aktivität

#### 3.5.1 Bestimmung der Koloniedichte in den Extrakten und in der Phyllosphäre

Für die Isolierung der Mikroorganismen wurden 10 g Kompost mit 90 ml Wasser in einer Duranflasche (250 ml) überschichtet. Das Kompost-Wasser-Gemisch wurde in Abhängigkeit vom Versuchsaufbau einmal zu Beginn oder täglich bis zur Gewinnung des Kompostextraktes umgerührt. Für die Erfassung der Koloniedichte (cfu/ml) in den Kompostextrakten wurde eine dezimale Verdünnungsreihe ( $10^{-1} - 10^{-4}$ ) hergestellt und jeweils 50 µl auf selektiven Nährmedien auf der Agaroberfläche (KAB, *Streptomyces*-Agar, *Bacillus*-Agar und SNA, siehe Anhang) mit einem Drigalsky-Spatel ausplattiert. Die Platten wurden bei 27°C inkubiert und nach 48 h ausgewertet (KETTERER, 1990). Mit Hilfe eines Stereomikroskops wurde die Häufigkeit einzelner Mikroorganismen ermittelt. Die am häufigsten aufgetretenen Mikroorganismen wurden isoliert und kultiviert. Folgende Aspekte standen im Zentrum der Betrachtungen: Die Anzahl der Mikroorganismen in Abhängigkeit von der Extraktionszeit, der Häufigkeit des Umrührens des Kompost-Wasser-Gemisches während der Extraktionszeit, der Zugabe von Glukose (0,1%), der Herkunft der Extrakte und der Lagerungszeit der Komposte.

Für die Bakterienbestimmung wurden die Bakterien auf Kalzium-Agar ausplattiert (24 h, 27 °C). Anschließend wurden diese auf den TSB-Agar (siehe Anhang) überimpft. Die Ernte der Isolate wurde nach 24 Stunden durchgeführt. Der Aufschluss erfolgte in organischen Lösungsmitteln (siehe Anhang) und die Bestimmung mit Hilfe des Gaschromatographen (Fettsäuremuster) (MILLER und BERGER, 1985).

Die Kompostextrakte wurden auf Tomaten- (Sorte St. Pierre) und Batatepflanzen (Sorte Nadang) gesprüht. In bestimmten Zeitabständen (0 h, 24 h, 48 h, 3 und 5 Tage) wurden nach dem Zufallsprinzip einzelne Blätter entnommen, jeweils 20 Blattstücke (Durchmesser 1 cm) ausgestochen und diese für eine Stunde in einer sterilen Waschlösung (NaCl 8,5 g/l destilliertes Wasser) auf einem Horizontalschüttler geschüttelt. Proben der Waschlösung (50 µl) wurden auf KAB-Medium in dreifacher Wiederholung ausplattiert. Die Proben wurden bei 27°C inkubiert und nach 48 h die Anzahl der Kolonien erfasst. Bei der Kontrolle wurde eine Wasserbehandlung vorgenommen. Des Weiteren erfolgte eine Anreicherung der Extrakte mit den Formulierungshilfsstoffen Xanthan, Alginate und Zellulose (0,2 %) und die Erfassung der Koloniedichte in der Phyllosphäre. Bei der Reisolation der Mikroorganismen aus der Phyllosphäre wurde eine modifizierte Methode nach HELBIG (2002) angewandt.

### 3.5.2 Plattentests

Isolierte Bakterien aus den Kompostextrakten wurden als Strich in der Mitte einer Petrischale mit einem sterilen Objektträger aufgetragen. Zwei Pilzmyzelscheiben (6 mm) von *A. solani* und *C. gloeosporioides* wurden einen Zentimeter vom Rand entfernt mit der Myzelseite nach unten auf die Nährmedien (PDA, NA, siehe Anhang) aufgetragen. Die Petrischalen wurden bei 22–25°C und dunkel inkubiert. Nach siebentägiger Kultivierung waren die gegeneinander gewachsenen Kolonien auf vorhandene antagonistische Wirkung zu prüfen und die Hemmzone bzw. der Abstand zwischen der Kolonie des Antagonisten und der des Pathogens war in mm zu messen (HELBIG und BOCHOW, 2001).

Wässrige Extrakte (0,5 ml) wurden vor und nach der Entfernung der Mikroorganismen mittels eines Filters auf Petrischalen mit PDA als Strich in der Mitte aufgetragen. Am Rande der Petrischale und vertikal zu dem Extraktstrich wurden zwei Myzelstücke von *A. solani* platziert. Die Platten wurden bei 25°C inkubiert und nach 10 Tagen ausgewertet. Diese Auswertung erfolgte anhand des gemessenen Abstandes zwischen dem gebildeten Myzel des Pathogens und dem Strich.

In PDA-Platten wurden mit dem Korkbohrer (1 cm) drei Löcher entlang des Durchmessers ausgestanzt. Die Extrakte wurden sterilisiert und in die Löcher einpipetiert (insgesamt 1 ml Ke). Die Kontrolle wurde mit sterilem Wasser ausgefüllt. Nach drei Tagen wurden Myzelstücke von *A. solani* und *C. gloeosporioides* (6 mm) am Rande platziert. Die Auswertung erfolgte sieben Tage nach der Platzierung anhand des Wachstums der Pathogene.

Das Nährmedium wurde aus PDA und steril gefilterten oder autoklavierten (20 Minuten bei 120°C und 1,2 at) Kompostextrakten hergestellt. 40 ml Kompostextrakt wurden mit 70 ml PDA autoklaviert. 40 ml Extrakt wurden nach dem Autoklavieren (70 ml PDA) bei etwa 40°C steril mit einer Filterspritze zugegeben. Die Kontrolle bestand aus 70 ml PDA und 40 ml dest. Wasser. Ein Myzelstück (6 mm) von *A. solani* und *C. gloeosporioides* wurde in der Mitte der Petrischale aufgetragen. Es wurde der Durchmesser der Kolonie nach fünf, sieben, zehn und vierzehn Tagen gemessen.

### 3.6 Enzymaktivität, Pflanzenwachstum und Phytotoxizität

Batate- und Tomatenpflanzen wurden mit Extrakten behandelt. Nach einer definierten Zeit (1-6 Tage) wurden von der Tomate das erste Blatt der zweitunteren Blattetage und ein junges Blatt von der Batate entnommen und in flüssigem Stickstoff für 10 Sekunden

schockgefroren. Zur Herstellung des Pflanzenrohextraktes wurden von jeder Blattprobe 0,2 g gewogen und in flüssigem Stickstoff homogenisiert. Der Extrakt wurde in Eppendorf-Reaktionsgefäße gefüllt und für 20 Minuten bei 4°C und 13000 rpm zentrifugiert. Der Überstand wurde auf Eppendorf-Reaktionsgefäße verteilt. Die Bestimmung der  $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität erfolgte anhand einer Methode nach WIRTH und WOLF (1990; 1992) (siehe Anhang). Nach der Bearbeitung der Proben wurde die Extinktion photometrisch in Plexiglasküvetten bei 540 nm bestimmt. Zur Feststellung der Chitinase-Aktivität wurde die Methode von WIRTH und WOLF (1990) und von HOU et al. (1998) angewendet (siehe Anhang). Die photometrische Bestimmung erfolgte bei einer Wellenlänge von 550 nm. Drei Kompostextrakte, hergestellt bei verschiedenen Extraktionszeiten, wurden auf ihre Enzymaktivität ( $\beta$ -1,3-Glucanase, Chitinase) hin untersucht. Folgende Varianten wurden getestet.

---

Varianten :

---

Diocoul2 (Ez 5T, K/W 1: 4)	Conakry3 (Ez 5T, K/W 1: 4)
Diocoul2 (Ez 4T, K/W 1: 4)	Conakry3 (Ez 4T, K/W 1: 4)
Diocoul2 (Ez 3T, K/W 1: 4)	Conakry3 (Ez 3T, K/W 1: 4)
Lome3 (Ez 5T, K/W 1: 4)	
Lome3 (Ez 4T, K/W 1: 4)	
Lome3 (Ez 3T, K/W 1: 4)	

---

Extrakte aus Diocoul, Lome und Conakry (Ez 5 Tage, 1:4 K/W) wurden auf Tomaten- (fünf Spritzbehandlungen) und Batatepflanzen (vier Spritzbehandlungen) einmal pro Woche gesprüht. Die Pflanzen wurden vor jeder Extraktbehandlung auf phytotoxische Symptome ausgewertet. Diese Auswertung erfolgte durch die Ermittlung von Verfärbungen, der Bildung von Läsionen oder nekrotischer Flecken auf den Blättern. Nach der vierten bzw. fünften Extraktbehandlung wurden die Pflanzen direkt über dem Hypokotyl geschnitten und die Frischmasse wurde gewogen. Anschließend wurde diese für 48 h bei 104°C in einem Brutschrank inkubiert und die Trockenmasse erfasst. Der Versuch wurde mit zehn Pflanzen pro Variante durchgeführt.

### **3.7 Ermittlung des pH-Wertes der Extrakte, elektronen- und lichtmikroskopische Aufnahmen**

Vor der Applikation der Extrakte wurde der pH-Wert im Labor ermittelt. Des Weiteren wurde in einem einzelnen Versuch alle zwei Tage der pH-Wert der Extrakte aus *T. madina* und Lome im Verlauf von insgesamt fünfzehn Tagen gemessen.

Die lichtmikroskopischen Untersuchungen erfolgten an *A. solani* - Präparaten, die in vitro aus SNA-Platten gewonnen wurden. Die elektronenmikroskopischen Untersuchungen erfolgten an Tomaten- und Maniokblättern, behandelt mit Kompostextrakten und inokuliert mit *A. solani* und *C. gloeosporioides*. Die Abbildungen der mikroskopischen Untersuchungen werden im Anhang dargestellt.

### **3.8 Statistische Auswertung**

Zur statistischen Auswertung wurden die Mittelwerte anhand der Mittelklassen der Boniturwerte (insgesamt sechs) gebildet. Die Anzahl der Wiederholungen je Versuch wird bei der Beschreibung der Methodik angegeben. Die Ergebnisse der durchgeführten Betrachtungen wurden mit dem Programm SPSS 10 ausgewertet. Hierbei wurden die Daten auf Normalverteilung der Resteffekte und Varianzhomogenität getestet. Die Prüfung auf Normalverteilung wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test, die Varianzhomogenität mit dem Levene-Test durchgeführt. Bei Vorliegen einer Normalverteilung und Varianzhomogenität wurden die Messwerte einfaktoriell varianzanalytisch verrechnet und der Tukey-Test angewendet. Unter Annahme von Varianzhomogenität kam bei unabhängigen Stichproben der Welch-Test zum Einsatz. Waren die Daten nicht normal verteilt, wurde der Kruskal-Wallis-H-Test und im Anschluss der Nemenyi-Test angewendet. Bei den statistischen Tests wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit ( $\alpha$ ) von 5 % und in seltenen Fällen von 10 % angenommen. In den Tabellen und Abbildungen erfolgt die Kennzeichnung von signifikant verschiedenen Mittelwerten mit unterschiedlichen Buchstaben.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Untersuchung zur Wirksamkeit von Extrakten an abgetrennten Tomatenblättern

#### 4.1.1 Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Herkunft des Kompostes

An abgetrennten Tomatenblättern der Sorte Rheinlandsruhm wurde die Wirksamkeit von Extrakten aus Lome1, Conakry2 und Tsevie1 geprüft. Der Extrakt aus Lome1 unterdrückte den Krankheitserreger am wirksamsten. Der Befall wurde um 41 % im Vergleich zur Kontrolle reduziert. Der Extrakt aus Conakry2 erreichte eine Reduzierung um 39 % und der aus Tsevie1 eine um 15 % (Tab. 10; siehe Anhang 2a).

Tabelle 10: Wirksamkeit der Extrakte (Ez 9 Tage, 1:5 K/W, 24h Iz) gegen *A. solani* an abgetrennten Tomatenblättern in Abhängigkeit von der Herkunft der Komposte (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  Nemenyi-Test,  $n = 10$ , Signifikanz wird mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet); 17.10.2000

Kompostextrakte	befallene Blattoberfläche (%)		pH-Wert
	absolut	relativ	
Lome1	44 b	59	8,2
Tsevie1	64 a	85	8,1
Conakry2	46 b	61	8,6
Kontrolle	75 a	100	

Bei einer Extraktionszeit von sieben Tagen und einer Konzentration von 1:4 K/W konnten alle Extrakte den Befall an den Blättern (Sorte Rheinlandsruhm) erheblich reduzieren. Im Vergleich zur Kontrolle erreichten die Extrakte eine Reduzierung um 94 %. Die Tabelle 11 stellt die Befallsstärke der Tomatenblätter sowie die pH-Werte der Extrakte vor der Applikation dar.

Tabelle 11: Wirksamkeit der Extrakte (7 Tage Ez, 1:4 K/W, 24 h Iz) gegen *A. solani* an abgetrennten Tomatenblättern in Abhängigkeit von der Herkunft der Komposte (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  Tukey-Test,  $n = 10$ ); 18.09.2000

Kompostextrakte	befallene Blattoberfläche (%)		pH-Wert
	absolut	relativ	
Lome1	5,5 b	6	8,50
Tsevie1	5,5 b	6	8,65
Conakry2	8,0 b	9	8,70
T. madina1	5,5 b	6	8,50
Kontrolle	87,5 a	100	

Bei einer Extraktionszeit von neun Tagen, einer Konzentration von 1:5 K/W und einer Induktionszeit von zwei Tagen haben die Extrakte unterschiedlicher Herkunft den Befall an Tomatenblättern der Sorte Rheinlandsruhm reduziert. Der aus Lome1 stammende Extrakt konnte den Befall um 93 % im Vergleich zur Kontrolle reduzieren, gefolgt von dem Extrakt aus Tsevie1 um 83 % und aus T.madina1 um 41 % (Tab. 12).

Tabelle 12: Wirksamkeit der Extrakte (9 Tage Iz, 1:5 K/W, 48h Iz) gegen *A. solani* an abgetrennten Tomatenblättern in Abhängigkeit von der Herkunft der Komposte (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  Nemenyi-Test,  $n = 10$ ); 28.09.2000

Extrakte	befallene Blattoberfläche (%)		pH-Wert
	absolut	relativ	
Lome1	3 c	7	8,2
Tsevie1	7 c	17	8,4
T. madina1	24 b	59	8
Kontrolle	41 a	100	

Alle Extrakte erzielten eine Unterdrückung des Befalls. Am wirksamsten erwies sich dabei der aus Timbi madina1<sup>+</sup>. Die Extrakte 1 und 1<sup>+</sup> aus T. madina unterscheiden sich hinsichtlich der Konzentration Kompost – Wasser, der Extraktions- und der Induktionszeit (Tab. 13).



Tabelle 13: Wirksamkeit der Extrakte (Tsevie1, T.Madina1 und Lome2, 7 Tage Ez, 2 Tage Iz und 1:4 K/W, T.madina1<sup>+</sup> 9 Tage Ez, 1 Tag Iz und 1:5 K/W) an abgetrennten Tomatenblättern (Sorte Xina) gegen *A. solani* in Abhängigkeit von der Herkunft der Komposte (signifikant bei  $\alpha = 0,1$  Nemenyi-Test, n = 5); 11.04.2001

Kompostextrakte	befallene Blattoberfläche (%)		pH-Wert
	absolut	relativ	
Tsevie1	54,1 a	92	8,7
T. madina1	12,5 bc	21	8,6
T. madina1 <sup>+</sup>	6,8 c	12	8,6
Lome2	29,2 b	49	8,6
Kontrolle	59,1 a	100	

Sechs verschiedene Extrakte wurden auf zwei selektiven Nährmedien (KAB und *Streptomyces*-Agar) ausplattiert und anschließend an abgetrennten Tomatenblättern appliziert. Hierbei sollte untersucht werden, inwieweit ein Zusammenhang zwischen der Anzahl der Mikroorganismen und der Wirksamkeit der Extrakte gegen *A. solani* besteht. Fünf von sechs Extrakten haben den Befall an abgetrennten Tomatenblättern unterdrückt. Der Extrakt aus Diocoul2 reduzierte den Befall um 66 % im Vergleich zur Kontrolle, gefolgt von dem Extrakt aus Conakry3 mit 58 % und von T. madina2 mit 53 %. Die höchste Koloniedichte wurde auf KAB und *Streptomyces*-Agar im Extrakt von Tsevie1 gemessen, der eine Befallsminderung um 20 % im Vergleich zur Kontrolle erreichte (Tab.14).

Tabelle 14: Wirksamkeit der Extrakte (4 Tage Ez, 1:4 K/W, 2 Tage Iz) an abgetrennten Tomatenblättern (Sorte Xina) in Abhängigkeit von der Herkunft des Kompostes und der Koloniedichte auf zwei verschiedenen Nährmedien (relativ zu Kontrolle) (signifikant bei  $\alpha = 0,1$  Nemenyi-Test, n = 10); 25.05.2001

Extrakte	befallene Blattoberfläche (%)	cfu / ml auf KAB	cfu / ml auf <i>Streptomyces</i> -Agar
Diocoul2	34 a	$45 \times 10^5$	$39 \times 10^5$
Castor2	100 b	$6 \times 10^3$	$2 \times 10^3$
Lome2	70 b	$24 \times 10^5$	$15 \times 10^5$
Tsevie1	80 a	$51 \times 10^5$	$39 \times 10^5$
Conakry3	42 b	$18 \times 10^5$	$4 \times 10^5$
T.madina2	47 b	$9 \times 10^5$	$4 \times 10^5$
Kontrolle	100 a		

#### 4.1.2 Wirksamkeit in Abhängigkeit von der Konzentration Kompost – Wasser

Bei zwei unterschiedlichen Versuchen wurde der Einfluss der Konzentration Kompost – Wasser der Extrakte (Lome2, T. madina2 und Diocoul2) auf die Wirksamkeit gegen *A. solani* untersucht. Die Extrakte aus Lome2 und T. madina2 (neun Tage Extraktionszeit, zwei Tage Induktionszeit) wurden in einem Verhältnis von 1:4 bis 1:8 überschichtet, während bei dem aus Diocoul2 (drei Tage Extraktionszeit, zwei Tage Induktionszeit) die Konzentrationen 1:2,5, 1:5 und 1:10 ausgewählt wurden.

Der Extrakt aus Lome2 erreichte die höchste Wirksamkeit bei einer Konzentration 1:5. Der Befall wurde um 39 % im Vergleich zur Kontrolle vermindert. Der aus T.madina2 erzielte eine Verminderung um 65 % bei einer Konzentration von 1:6. Beim zweiten Versuch erwies sich eine Konzentration 1:10 am wirksamsten gegen *A. solani*. Der Befall wurde um 70 % vermindert (Tab. 15).

Tabelle 15: Wirksamkeit der Extrakte gegen *A. solani* an abgetrennten Tomatenblättern (Sorte Xina) in Abhängigkeit von der Konzentration Kompost – Wasser (relativ zu Kontrolle) (signifikant bei  $\alpha = 0,1$  Nemenyi-Test,  $n = 10$ )

	befallene Blattoberfläche (%)						
Konzentration K/W	1:2,5	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:10
Lome2 (23.11.2000)		70 ab	61 b	80 ab	65 b	74 ab	
T. madina2		71 ab	100 a	35 b	70 ab	40 b	
Diocoul2 (30.03.2001)	78 a		42 b				30 b
Kontrolle	100 a						

#### 4.1.3 Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Induktionszeit und dem Kompostalter

In Laufe des folgenden Versuches wurde der Einfluss der Induktionszeit auf die Wirksamkeit der Extrakte geprüft. Die abgetrennten Tomatenblätter (Sorte Xina) wurden zu unterschiedlichen Terminen (1, 2 und 3 Tage) nach der Applikation der Extrakte (Diocoul2) mit *A. solani* künstlich inokuliert. Die befallene Blattoberfläche wies zu allen drei Terminen die gleiche Unterdrückung des Befalls auf. Dieser wurde bei allen drei Varianten um 67 % im Vergleich zur Kontrolle reduziert (Tab.16).

Tabelle 16: Wirksamkeit der Extrakte (3 Tage Ez, 1:4 K/W) aus Diocoul2 in Abhängigkeit von der Induktionszeit (signifikant bei  $\alpha = 0,1$  Nemenyi-Test,  $n = 10$ ); 16.03.2001

Extrakt	befallene Blattoberfläche (%)		pH-Wert
Induktionszeit (Tage)	absolut	relativ	
1	12,6 b	33	7,8
2	12,6 b	33	
3	12,6 b	33	
Kontrolle	38,3 a	100	

Der Extrakt aus Lome2 reduzierte den Befall von *A. solani* an abgetrennten Blättern (Sorte Rheinlandsruhm) bei einer Induktionszeit von ein und zwei Tagen. Eine Applikation des Extraktes 24h vor der künstlichen Inokulation mit *A. solani* verminderte den Befall um 42 % im Vergleich zur Kontrolle und um 93 % bei einer Induktionszeit von zwei Tagen. Der Extrakt aus Tsevie1 erzielte eine Befallsreduktion um 15 % im Vergleich zur Kontrollvariante bei einer Induktionszeit von einem Tag und um 83 % nach einer von zwei Tagen (Tab.17).

Tabelle 17: Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Induktionszeit, (relativ zur Kontrolle) (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  Nemenyi-Test,  $n = 10$ )

Kompost	Extraktionszeit (Tage)	Induktionszeit (Tage)	Konzentration Kompost – Wasser (V/V)	befallene Blattfläche (%)
Lome2	9	1	1:5	58 b
Lome2	9	2	1:5	7 c
Tsévie1	9	1	1:5	85 a
Tsévie1	9	2	1:5	17 b
Kontrolle				100 a

Zur Untersuchung des Einflusses des Kompostalters auf die Wirksamkeit der Extrakte an abgetrennten Tomatenblättern (Sorte Xina) gegen *A. solani* wurde mit dem Extrakt aus Kompost, der zehn Monate gelagert hatte, eine stärkere Unterdrückung des Befalls erzielt. Dieser Extrakt reduzierte den Befall um 84 % im Vergleich zur Kontrolle, und um 16 % verglichen zum Extrakt, dessen Kompost für 17 Monate gelagert worden war (Tab.18).

Tabelle 18: Einfluss des Kompostalters auf die Wirksamkeit der Extrakte (Diocoul) gegen *A. solani* an abgetrennten Tomatenblättern (4 Tage Ez, 1:4 K/W, 2 Tage Iz) (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Nemenyi-Test,  $n = 10$ ); 06.04.2001

Extrakt (Kompostalter)	befallene Blattoberfläche (%)		pH-Wert
	absolut	relativ	
Diocoul1 (17 Monate)	16,0 ab	32	8,40
Diocoul2 (10 Monate)	8,0 b	16	8,35
Kontrolle	50,7 a	100	

Bei den Versuchen an abgetrennten Blättern erzielten die Extrakte, die aus frischem Kompost hergestellt wurden, eine stärkere Reduzierung des Befalls als jene, die über eine längere Zeit gelagert waren. Die Induktionszeit spielte eine Rolle bei den Extrakten aus Lome und aus Tsevie, während sie keine Auswirkungen auf den Extrakt aus Diocoul hatte. Die Konzentration Kompost – Wasser erwies sich ebenfalls als bedeutsam. Extrakte unterschiedlicher Herkunft erzielten die höchste Befallsreduzierung bei verschiedenen Konzentrationen (Tab. 19).

Tabelle 19: Zusammenfassung der höchsten Wirksamkeit der Extrakte an abgetrennten Tomatenblättern in Abhängigkeit von den untersuchten Parametern

Einfluss auf die Wirksamkeit	Herkunft					Konzentration K/W	Induktions- zeit	Kompostalter
	Versuch							
Herkunft	1	2	3	4	5			
Lome	*	*	*	-	-	1:5	2 Tage	
Tsevie	-	*	-	-	-		2 Tage	
Conakry	-	-			-			
T. madina		*	-	*	-	1:6		frische Komposte
Diocoul					*	1:10	1 bis 3 Tage	frische Komposte
Castor					-			

\* = stärkste Unterdrückung des Befalls

## 4.2 Untersuchung zur Wirksamkeit von Extrakten an Tomatenpflanzen

In den folgenden Versuchen sollte geklärt werden, ob sich die Ergebnisse an den abgetrennten Tomatenblättern auf die Pflanzen übertragen lassen. Die Pflanzen wurden nach einer Spritzbehandlung mit den wässrigen Extrakten und der künstlichen Inokulation mit *A. solani* anhand der befallenen Blattoberfläche und Befallshäufigkeit ausgewertet.

### 4.2.1 Einfluss der Extraktionsbedingungen

Unterschiedlich konzentrierte Extrakte eines Kompostes (Tsevie2) wurden auf die Wirksamkeit gegen *A. solani* untersucht. Bei drei verschiedenen Kompost-Wasser-Konzentrationen erwies sich die von 1:5 K/W am effektivsten, sowohl hinsichtlich der befallenen Blattoberfläche als auch der Befallshäufigkeit. Die Befallshäufigkeit konnte hier im Vergleich zur Kontrolle um 59 % und die befallene Blattoberfläche um 70 % reduziert werden. Verglichen mit dem Extrakt, der 1:3 überschichtet wurde, erzielte er eine Reduzierung der Befallshäufigkeit um 9 % und um 8 % der befallenen Blattoberfläche (Tab. 20).

Tabelle 20: Wirksamkeit der Extrakte (4 Tage Ez, 2 Tage Iz) gegen *A. solani* an der Tomate (Sorte St. Pierre) in Abhängigkeit von der Konzentration Kompost – Wasser (signifikant bei  $\alpha = 0,1$  Nemenyi-Test,  $n = 32$ ); 16.07.2001

Konzentration K/W	Befallshäufigkeit		befallene Blattoberfläche	
	absolut	%	absolut	%
Kontrolle	73,8	100 a	6,3	100 a
1:3	37,2	50 b	2,4	38 b
1:5	30,2	41 b	1,92	30 c
1:10	39,6	54 b	2,86	45 b

In Bezug auf die Länge der Extraktionszeit haben die Extrakte (Tsevie2), hergestellt bei unterschiedlichen Extraktionszeiten, eine Reduzierung von *A. solani* an der Tomate (Sorte St. Pierre) erzielt. Eine Extraktionszeit von fünf Tagen erreichte eine Reduzierung der befallenen Blattoberfläche um 57 % und der Befallshäufigkeit um 32 % im Vergleich zur Kontrollvariante. Eine Dauer von drei Tagen wirkte mit einer Reduzierung der Bh um 24 % und der Bbo um 52 % etwas weniger effektiv als eine von fünf Tagen. Der Extrakt, der nach sieben Tagen abfiltriert wurde, erreichte nur eine Minderung der Bh um 13 % und der Bbo um 32 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (Tab. 21 ).

Tabelle 21: Wirksamkeit der Extrakte (1:5 K/W, 2 Tage Iz) in Abhängigkeit von der Extraktionszeit gegen *A. solani* an der Tomate (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test, n = 29); 08.08.2001

	Befallshäufigkeit		befallene Blattoberfläche	
	absolut	%	absolut	%
Kontrolle	75	100 a	12,0	100 a
Extraktionszeit 3 T.	57	76 b	5,8	48 b
Extraktionszeit 5 T.	51	68 b	5,1	43 b
Extraktionszeit 7 T.	65	87 ab	8,2	68 b
Fungizid	19	25 c	1,8	15 c

Eine tägliche Durchmischung des Kompost-Wasser-Gemisches während der Extraktionszeit von drei Tagen erhöhte die Anzahl der Mikroorganismen und die Wirksamkeit im Pathosystem Tomate – *A. solani* (Sorte St. Pierre) im Vergleich zu einmaligem Umrühren nach dem Überstauen. Tägliches Umrühren bewirkte eine Befallsminderung der Blattoberfläche um 36 % und der Befallshäufigkeit um 22 % im Vergleich zu der Variante, die nur zu Beginn einmal umgerührt wurde (Tab. 22).

Tabelle 22: Einfluss der Häufigkeit des Umrührens des Kompost-Wasser-Gemisches während der Extraktion auf die Wirksamkeit der Extrakte aus Conakry3 (3 Tage Ez, 1:4 K/W, 2 Tage Iz) gegen *A. solani* an der Tomate (signifikant bei  $\alpha = 0,1$  Nemenyi-Test, n = 30); 15.06.2001

	Befallshäufigkeit		befallene Blattoberfläche		pH-Wert
	absolut	%	absolut	%	
Kontrolle	58	100 a	16,2	100 a	
tägliches Rühren	33	56 b	5,1	31 b	8,5
einmaliges Rühren	45	78 ab	10,9	67 ab	8,4

Bei dem Extrakt, der täglich umgerührt wurde, konnte zudem gegenüber dem nur zu Beginn einmalig umgerührten eine siebenfache Erhöhung der Mikroorganismendichte festgestellt werden ( Abb. 6).

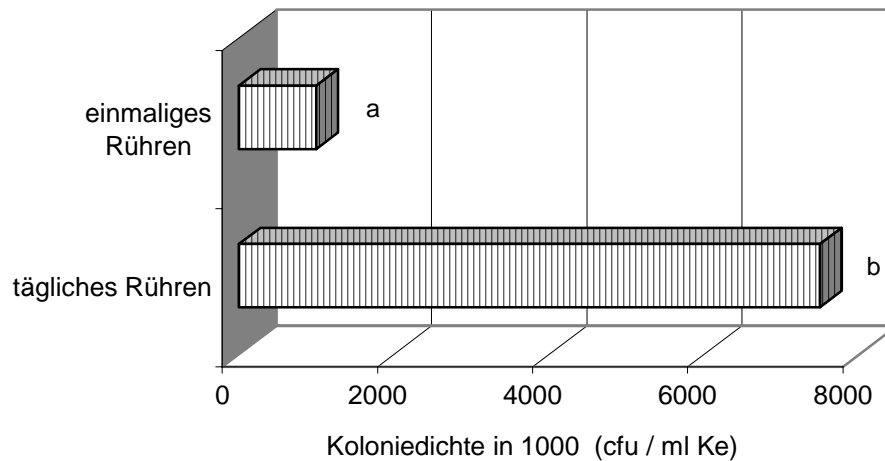


Abbildung 6: Anzahl der Mikroorganismen (cfu/ml Ke) im Extrakt (Conakry3) in Abhängigkeit von der Häufigkeit des Umrührens während der Extraktionszeit (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Welch-Test,  $n = 4$ )

Die Inkubation des Kompost-Wasser-Gemisches (Diocoul2) während der Extraktion bei 20°C führte zu einer höheren Anzahl an Mikroorganismen und zu einer besseren Wirksamkeit im Pathosystem Tomate – *A. solani* (Abb. 7) im Vergleich zu den Varianten, die einer Umgebungstemperatur von 30°C oder 35°C ausgesetzt waren. In der Variante mit 20°C wurde die Befallshäufigkeit um 66 % und die befallene Blattoberfläche um 86 % im Vergleich zur Kontrolle reduziert (Tab. 23; siehe Anhang 6a).

Tabelle 23: Wirkung der Kompostextrakte (3 Tage Ez, 1:4 K/W, 2 Tage Iz) gegen *A. solani* an der Tomate (Sorte Rheinlandsruhm) in Abhängigkeit von der Temperatur während der Extraktionszeit (signifikant bei  $\alpha = 0,1$  im Nemenyi-Test,  $n = 28$ )

	Befallshäufigkeit		befallene Blattoberfläche		pH-Wert
	absolut	%	absolut	%	
Kontrolle	64,0	100 a	14,3	100 a	
Diocoul 20 °C	21,5	34 b	2	14 b	7,8
Diocoul 30 °C	57,7	90 a	10,3	72 a	7,9
Diocoul 35 °C	39,0	61 ab	6,4	45 ab	8,3

Nach einer Extraktionszeit von 3 Tagen und einer Konzentration 1:4 Kompost – Wasser (V/V) betrug die Anzahl der Mikroorganismen im Kompostextrakt der 20°C-Variante das zehnfache der 30°C-Variante (Abb. 7).

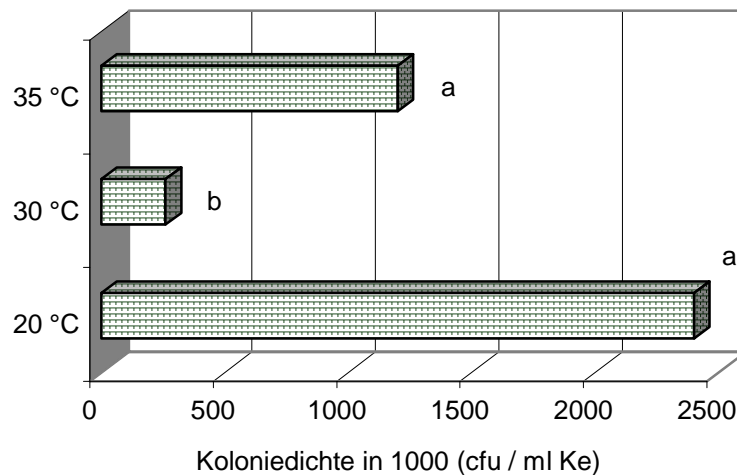


Abbildung 7: Anzahl der Mikroorganismen (cfu/ml Extrakt) (Diocoul2) in Abhängigkeit von der Temperatur während der Extraktionszeit (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Welch-Test,  $n = 4$ )

Bei den untersuchten Extraktionsparametern wird die höchste Wirksamkeit der Extrakte – relativ zur Kontrolle – an Tomatenpflanzen gegen *A. solani* in der Tabelle 24 zusammenfassend dargestellt. Die wässrigen Extrakte unterdrückten den Befall bei einer Konzentration Kompost – Wasser 1:5 am effektivsten, wenn sie täglich während der Extraktionszeit umgerührt wurden, einer Temperatur von 20°C ausgesetzt waren, und die Abfiltration des Kompost-Wasser-Gemisches nach fünf Tagen erfolgte.

Tabelle 24 : Zusammenfassung der höchsten Wirksamkeit der Extrakte an Tomatenpflanzen in Abhängigkeit von den Extraktionsbedingungen

	Konzentration K/W	Extraktionszeit	Umrühren	Temperatur
Tsevie	1:5	5 Tage		
Conakry			täglich	
Diocoul				20 °C

#### 4.2.2 Wirksamkeit einzelner, aus den Extrakten isolierter, bakterieller Antagonisten

Aus den Extrakten isolierte Bakterien wurden als Suspension mittels einer Handspritze an der Tomate appliziert (Sorte St. Pierre). Sieben Tage nach der künstlichen Inokulation mit *A. solani* wurde die Befallshäufigkeit und die befallene Blattoberfläche ermittelt. Das Bakterium D.B14 aus Diocoul erzielte die höchste Minderung der Befallshäufigkeit, nämlich um 14 % im Vergleich zur Kontrolle, dagegen wurde die Bbo von T.B13 um 50 % reduziert,



verglichen zur Kontrolle. Die Fungizidapplikation reduzierte die Bh um 47 % und die Bbo um 82 % (Tab. 25).

Tabelle 25: Wirksamkeit isolierter Bakterien aus den Extrakten gegen *A. solani* an der Tomate (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test,  $n = 28$ ); 10.05.2001

	Befallshäufigkeit		befallene Blattoberfläche	
	absolut	%	absolut	%
Kontrolle	88	100 a	33,6	100 a
Fungizid	47	53 b	6	18 b
D. B14	76	86 a	18,8	56 c
C. B13	75	85 a	20,1	60 c
T. B13	84	95 a	16,7	50 c

#### 4.2.3 Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Zugabe von Formulierungshilfsstoffen

Extrakte aus Lome3 wurden mit Xanthan, Alginat oder Zellulose angereichert. Der Extrakt ohne Formulierungshilfsstoffe erreichte eine Minderung der Befallshäufigkeit um 30 % und der befallenen Blattoberfläche um 10 % im Vergleich zur Kontrollvariante. Der Extrakt mit dem Zusatzstoff Alginat reduzierte die Befallshäufigkeit um 20 % und die befallene Blattoberfläche um 33 % im Vergleich zu der Variante ohne Formulierungshilfsstoffe. Die höchste Wirksamkeit erreichte der Extrakt mit Xanthan, nämlich eine Reduzierung um 23 % der Bh und der Bbo um 35 % im Vergleich zur Variante Ke. Die Anreicherung des Extraktes mit Zellulose reduzierte die Bh um 10 % und die Bbo um 27 % im Vergleich zur Variante-Extrakt (Tab. 26).

Tabelle 26: Wirksamkeit der Extrakte (3 Tage Ez, 1:5 K/W, 2 Tage Iz) gegen *A. solani* an der Tomate in Abhängigkeit von der Zugabe von Formulierungshilfsstoffen (0,2 %) (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test,  $n = 31$ ); 15.10.01

	Befallshäufigkeit		befallene Blattoberfläche	
	absolut	%	absolut	%
Kontrolle	80,6	100 a	5,1	100 a
Extrakt+Alginat	40,0	50 bc	2,9	57 b
Extrakt+Xanthan	38,0	47 c	2,8	55 b
Extrakt+Zellulose	48,0	60 bc	3,2	63 b
Extrakt	57,0	70 ab	4,6	90 ab
Fungizid	28,9	36 c	2,4	47 b

Die Kombination von Xanthan + Alginat erzielte keine Erhöhung der Wirksamkeit des Extraktes (Tsevie2) – weder bei der Befallshäufigkeit noch bei der befallenen Blattoberfläche. Die Variante mit Xanthan erreichte die höchste Unterdrückung des Befalls und konnte die Befallshäufigkeit um 14 % und die befallene Blattoberfläche um 6 % im Vergleich zu dem Extrakt ohne Zusatzstoffe reduzieren (Tab. 27).

Tabelle 27: Wirksamkeit der Extrakte (3 Tage Ez, 1:5 K/W, 2 Tage Iz) gegen *A. solani* an der Tomate in Abhängigkeit von der Zugabe und Kombination von Formulierungshilfsstoffen (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test,  $n = 27$ ); 24.09.01

	Befallshäufigkeit		befallene Blattoberfläche	
	absolut	%	absolut	%
Kontrolle	72,5	100 a	7,32	100 a
Fungizid	31	42 c	1,7	23 b
Extrakt	50	69 abc	3,1	42 b
Extrakt + Alginat (0,5%)	57	78 ab	4,6	63 b
Extrakt + Xanthan (0,5%)	40	55 bc	2,6	36 b
Extrakt + X. + A. (0,25%+0,25%)	62	86 ab	4,1	56 b

Die Zugabe einer Kombination der Formulierungshilfsstoffe (X. + A. + Z.) erhöhte nicht die Wirksamkeit der Extrakte (Tsevie2) gegen *A. solani* an der Tomate. Der Extrakt ohne Formulierungshilfsstoffe reduzierte die Befallshäufigkeit um 21 % und die befallene Blattoberfläche um 70 % im Vergleich zu der Kontrollvariante. Durch die Zugabe von Xanthan konnte eine bessere Unterdrückung erreicht werden, nämlich um 12 % der Bh und 1 % der Bbo gegenüber dem Extrakt ohne Formulierungshilfsstoffe. Die Kombination der drei Fhs dagegen konnte um 9 % die Bh und um 51 % die Bbo im Vergleich zur Kontrolle reduzieren (Tab. 28).

Tabelle 28: Wirksamkeit der Extrakte (3 Tage Ez, 1:5 K/W, 2 Tage Iz) gegen *A. solani* an der Tomate in Abhängigkeit von der Zugabe und Kombination von Formulierungshilfsstoffen (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test,  $n = 26$ ); 20.11.01

	Befallshäufigkeit		befallene Blattoberfläche	
	absolut	%	absolut	%
Kontrolle	58	100 a	13,60	100 a
Extrakt	46	79 b	4,00	30 b
Extrakt + Zellulose (0,5%)	57	98 ab	5,75	42ab
Extrakt + Alginat (0,5%)	57	98 ab	9,15	67 a
Extrakt + Xanthan (0,5%)	39	67b	3,90	29 b
Extrakt + Z. + A. + X. (0,15%+0,15%+0,15%)	53	91 ab	6,68	49 ab

Extrakte aus Tsevie2 wurden mit unterschiedlichen Konzentrationen von Xanthan (0,2% – 0,5% – 0,8 %) angereichert und an Tomatenpflanzen appliziert. Nach zwei Tagen wurden die Pflanzen künstlich inokuliert. Die Auswertung erfolgte nach sieben Tagen. Eine Konzentration von 0,5 % wirkte effektiver auf die Reduzierung der Befallshäufigkeit als eine Konzentration von 0,2 % oder 0,8 %. Hingegen wurde die befallene Blattoberfläche bei einer Konzentration von 0,8 % stärker reduziert als bei den anderen Konzentrationen (Tab. 29). Der Extrakt mit einem Anteil von 0,8 % Xanthan reduzierte die Bbo um 14,8 % und die Bh um 16 % im Vergleich zum Kompostextrakt ohne Formulierungshilfsstoffe. Die Anreicherung des Extraktes mit 0,5 % Xanthan reduzierte die Bh um 21 % und die Bbo um lediglich 2,3 % im Vergleich zu der Variante-Extrakt.

Tabelle 29: Einfluss der Konzentration von Xanthan auf die Wirksamkeit der Extrakte (3 Tage Ez, 1:5 Konzentration K/W, 2 Tage Iz) gegen *A. solani* (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Nemenyi-Test,  $n = 27$ ); 22.12.2001

	Befallshäufigkeit		befallene Blattoberfläche	
	absolut	%	absolut	%
Kontrolle	60	100 a	12,00	100 a
Extrakt	37	61 b	3,28	27,3 b
Xanthan + Wasser	60	100 a	11,00	91,6 a
Extrakt + Xanthan (0,2%)	35	59 b	3,50	29,6 b
Extrakt + Xanthan (0,5%)	24	40 b	3,00	25 b
Extrakt + Xanthan (0,8%)	27	45 b	1,50	12,5 b

Extrakte aus Lome3 wurden mit drei unterschiedlichen Konzentrationen von Zellulose (0,2 % – 0,5 % – 0,8 %) angereichert. Die Extrakte wurden auf Tomatenpflanzen gesprüht und 48 Stunden danach mit *A. solani* künstlich inokuliert. Die Anreicherung der Extrakte mit Zellulose in verschiedenen Konzentrationen wirkte nur bei einer Konzentration von 0,2 % effektiver im Vergleich zum Ke ohne Zellulose. Gegenüber der Variante ohne Zellulose konnte hierbei eine um 10 % stärkere Reduzierung der Befallshäufigkeit und eine um 11 % der befallenen Blattoberfläche erreicht werden (Tab. 30).

Tabelle 30: Wirksamkeit der Extrakte gegen *A. solani* an der Tomate in Abhängigkeit von der Zugabe und Konzentration des Fhs Zellulose (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test, n = 26)

	Befallshäufigkeit		befallene Blattoberfläche	
	absolut	%	absolut	%
Kontrolle	86	100 a	17,24	100 a
Extrakt	49	56 b	4,77	28 b
Extrakt+Zellulose (0,2%)	40	46 b	2,89	17 b
Extrakt+Zellulose (0,5%)	50	58 b	4,15	24 b
Extrakt+Zellulose (0,8%)	49	56 b	5,73	33 b

Der Extrakt aus Lome3 wurde nach der Überschichtung mit Zucker angereichert. Zusätzlich wurden zwei fertigen Kompostextrakten nach der Herstellung Neem oder Zucker beigegeben. Die Extrakte wurden an die Tomaten appliziert und nach einer Induktionszeit von zwei Tagen mit *A. solani* künstlich inokuliert. Die Zusatzstoffe erhöhten die Wirksamkeit der Extrakte nicht im Vergleich zur Extraktvariante. Der Extrakt ohne Zusatzstoffe erreichte eine Minderung der Befallshäufigkeit um 34 % und der befallenen Blattoberfläche um 72 % im Vergleich zur Kontrollvariante (Tab. 31).

Tabelle 31: Wirksamkeit der Extrakte (3 Tage Ez, 1:5 K/W, 2 Tage Iz) gegen *A. solani* an der Tomate in Abhängigkeit von der Zugabe von Zusatzstoffen (Neem, Zucker vor und nach der Herstellung der Extrakte) (0,5 %) (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Nemenyi-Test,  $n = 28$ ); 24.10.01

	Befallshäufigkeit		befallene Blattoberfläche	
	absolut	%	absolut	%
Kontrolle	59	100 a	11,2	100 a
Extrakt	39	66 b	3,14	28 c
Extrakt + Neem	43	73 ab	8,5	76 ab
Extrakt + Zucker (Nach der Überschichtung)	48	81 ab	3,68	33 c
Extrakt + Zucker	39	66 b	6,67	60 b
Fungizid	20	34 b	3	27 c

Ein weiterer Versuch sollte Aufschluss über die Frage geben, ob durch die Anreicherung mit Zucker oder Hefe die Wirkungskdauer der Extrakte beeinflusst werden kann. Extrakte aus Tsevie2 wurden mit Zucker oder Hefe angereichert. Der Befall an den Tomatenpflanzen wurde zu drei unterschiedlichen Terminen ermittelt. Bei der ersten Auswertung zeigten die Zusatzstoffe Hefe und Zucker keine erhöhte Wirksamkeit im Vergleich zum Extrakt ohne Zusatzstoffe. Beim zweiten und dritten Termin ließ die Wirksamkeit der mit Hefe und Zucker angereicherten Extrakte sogar noch stärker als die Extraktvariante nach (Tab. 32).

Tabelle 32: Befallshäufigkeit in Abhängigkeit von der Dauer der Wirksamkeit der Extrakte (5 Tage Ez, 1:5 K/W, 2 Tage Iz) und den Zusatzstoffen (0,5 %) (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test,  $n = 27$ ); 28.11.2001

	Befallshäufigkeit (%)		
	7 T.	17 T.	24 T.
Kontrolle	60 a	72 a	96 a
Extrakt	28 b	32 b	52 b
Extrakt + Hefe	28 b	48 b	58 b
Extrakt + Zucker	56 a	68 a	89 a

### 4.3 Untersuchung zur Wirksamkeit von Extrakten an Maniok (abgetrennte Blätter)

#### 4.3.1 Einfluss der Lagerungsdauer der Komposte und der Häufigkeit des Umrührens während der Extraktionszeit

Eine tägliche Durchmischung der Kompost-Wasser-Mixtur während der Extraktionszeit reduzierte den Befall um 36 % im Vergleich zur Kontrolle und um 9 % zur Variante mit dem einmaligen Umrühren. Durch eine längere Lagerung des Komposts verringerte sich die Wirkung der Extrakte. Der Extrakt (Lome3) aus frischem Kompost erzielte eine Minderung des Befalls um 18 % im Vergleich zum Extrakt, dessen Kompost länger gelagert wurde (Lome2) (Tab. 33).

Tabelle 33: Wirksamkeit der Extrakte (3 Tage Ez, 1:10 K/W, 2 Tage Iz) in Abhängigkeit von der Dauer der Lagerung der Komposte und der täglichen Durchmischung, (relativ zur Kontrolle) (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Nemenyi-Test,  $n = 30$ ) (Suspension von  $Cg\ 3 \times 10^5$  Konidien/ml); 25.08.2001

	Anzahl der gebildeten Acervuli / cm <sup>2</sup> Blattoberfläche (%)
Kontrolle	100 a
Extrakt (einmal umgerührt)	73 b
Lome3 (täglich umgerührt, Lagerung 1 Monat)	64 b
Lome2 (täglich umgerührt, Lagerung 12 Monate)	82 ab

#### 4.3.2 Einfluss der Konzentration Kompost-Wasser und der Extraktionszeit

Der Kompostextrakt aus Lome3 wurde in vier unterschiedlichen Kompost-Wasser-Konzentrationen hergestellt. Eine Konzentration von 1:15 erreichte eine Reduzierung des Befalls um 87 % im Vergleich zur Kontrolle. Bei den weniger konzentrierten Varianten war der Befall stärker ausgeprägt (Tab. 34).

Tabelle 34: Einfluss der Konzentration K/W auf die Wirksamkeit der Extrakte (8 Tage Ez, 2 Tage Iz) gegen *C. gloeosporioides* an Maniok (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Nemenyi-Test, n = 30) (Suspension von  $Cg\ 3 \times 10^5$  Konidien/ml); 21.09.2001

	Anzahl der gebildeten Acervuli / cm <sup>2</sup> Blattoberfläche relativ zur Kontrolle (%)	pH-Wert
Kontrolle	100 a	
Fungizid	11 b	
K/W 1:2,5	40 ab	8,9
K/W 1:5	32 ab	8,8
K/W 1:10	16 b	8,7
K/W 1:15	13 b	8,5

Der Einfluss der Extraktionszeit wurde in einem weiteren Versuch getestet. Der Extrakt aus Tsevie3 erreichte seine höchste Wirksamkeit bei einer Extraktionszeit von fünf Tagen. Er erzielte eine Befallsminderung um 5 % im Vergleich zu dem Extrakt, der nach einer Extraktionszeit von zehn Tagen abfiltriert wurde, und um 26 % zu dem Extrakt, der nach 15 Tagen hergestellt wurde. Die Extrakte aus Castor3 und aus Conakry3 wiesen die höchste Wirksamkeit nach zehn Tagen auf (Tab. 35).

Tabelle 35: Einfluss der Extraktionszeit auf die Wirksamkeit der Extrakte (1:4 K/W, 24 h Iz) gegen *C. gloeosporioides* an Maniokblättern (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Nemenyi-Test, n = 30) (Suspension von  $Cg\ 3 \times 10^5$  Konidien/ml); 15.08.2002

Extraktionszeit	Tsevie3	Castor3	Conakry3	Kontrolle
	Anzahl der gebildeten Acervuli / cm <sup>2</sup> Blattoberfläche relativ zu Kontrolle (%)			
5 Tage	44 b	74 ab	71 ab	100 a
10 Tage	49 bc	47 b	51 b	
15 Tage	70 ac	71 ab	70 ab	

Das tägliche Umrühren des Kompost-Wasser-Gemisches während der Extraktionszeit erhöhte die Wirksamkeit der Extrakte im Vergleich zu dem Gemisch, das nur zu Beginn einmal umgerührt wurde. Bezüglich des Einflusses der Kompost-Wasser-Konzentration wiesen Extrakte, die 1 zu 15 überschichtet waren, die höchste Wirksamkeit auf. Extrakte, die aus frischen Komposten hergestellt wurden, zeigten eine höhere Befallsreduzierung als jene, deren Komposte schon länger gelagert waren. (Tab. 36).

Tabelle 36 : Zusammenfassung der höchsten Wirksamkeit der Extrakte an abgetrennten Maniokblättern in Abhängigkeit von den untersuchten Parametern

	Umrühren	Kompostalter	Konzentration K/W	Extraktionszeit
Lome	täglich	frische Komposte	1:15	
Tsevie				5 Tage
Castor				10 Tage
Conakry				10 Tage

#### 4.3.3 Formulierungshilfsstoffe

Die Kompostextrakte aus Tsevie2 (Ez 3 Tage, K/W 1:5) wurden nach der Herstellung mit Formulierungshilfsstoffen angereichert und an abgetrennten Maniokblättern appliziert. Die Kombination mit den Fhs erzielte eine Befallsminderung um 44 % im Vergleich zum Extrakt ohne Zusatzstoffe. Jedoch wirkte der mit Xanthan angereicherte Extrakt am effektivsten: Er erreichte eine Reduzierung um 84 % im Vergleich zur Kontrolle und um 46 % in Relation zum Extrakt ohne Formulierungshilfsstoffe (Tab. 37).

Tabelle 37: Einfluss der Formulierungshilfsstoffe auf die Wirksamkeit der Extrakte gegen *C. gloeosporioides* an Maniok (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test,  $n = 30$ )(Suspension von  $Cg 10^3$  Konidien/ml )

	Anzahl der gebildeten Acervuli / cm <sup>2</sup> Blattoberfläche (%)	
	absolut	relativ
Kontrolle	6,62 a	100
Extrakt	4,08 b	62
Extrakt + Xanthan (0,5%)	1,03 c	16
Extrakt + Zellulose (0,5%)	2,16 c	33
Extrakt + Alginat (0,5%)	4,33 b	65
Extrakt + Alginat + Zellulose + Xanthan (0,15%+0,15%+0,15%)	1,22 c	18



#### 4.4 Ermittlung der mikrobiellen Aktivität in den Extrakten

Zur Erfassung der Anzahl der Pilzkolonien wurden 50 µl Extrakt auf SNA-Nährmedium ausplattiert (Ke1 = Lome1, Ke 2 = Conakry1, Ke 3 = Castor1, Ke 4 = Diocoul1). In dem Extrakt aus Diocoul1 war die Anzahl der Pilzkolonien am ersten Tag am höchsten und nahm bis zum zwölften Tag ab. Bei den übrigen Extrakten wurde die höchste Koloniedichte jeweils zwischen dem zweiten und dem fünften Tag festgestellt (Abb.8).

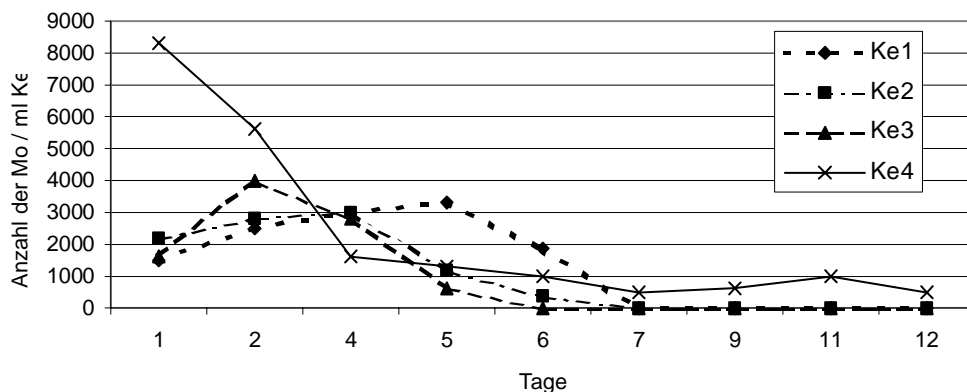


Abbildung 8: Koloniedichte (cfu/ml) in Abhängigkeit von der Extraktionszeit (Nährmedium SNA)(n = 5)

Kompostextrakte unterschiedlicher Herkunft (Ke1 = Tsevie2, Ke2 = Timbi madina1, Ke3 = Lome2, Ke4 = Conakry2) wurden nach einer Extraktionszeit von vier Tagen in einer Konzentration 1:4 Kompost – Wasser auf drei selektiven Nährmedien ausplattiert. Anschließend erfolgte die Erfassung der Koloniedichte (cfu/ml Ke) der Bakterien. Als dominierende Bakteriengruppe erwies sich dabei in allen Extrakten die der *Pseudomonas*, gefolgt von *Streptomyces* und *Bacillus* (Abb. 9).

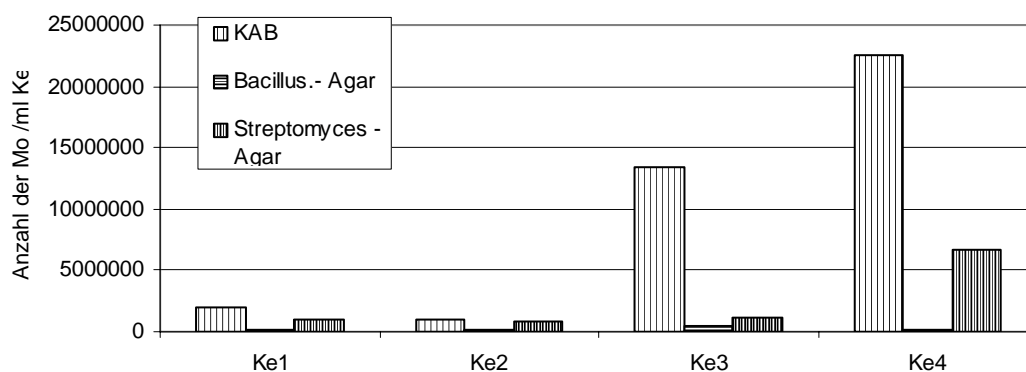


Abbildung 9: Koloniedichte auf selektiven Nährmedien in Abhängigkeit von der Herkunft des Kompostes (n = 4)

Die Anzahl der Mikroorganismen wurde in Abhängigkeit von der Extraktionszeit quantitativ bestimmt. Die Extrakte wurden alle zwei Tage auf KAB-Agar ausplattiert. In beiden Varianten der Ke1 und Ke3 ergab sich die höchste Koloniedichte nach drei Tagen Extraktionszeit, hingegen bei den Varianten des Ke2 erst nach sieben Tagen. Beim Ke1 betrug die Differenz zwischen den Varianten mit täglicher und mit einmaliger Durchmischung  $3,6 \times 10^6$  beim Ke2  $6,2 \times 10^6$  und beim Ke3  $10^7$  (Abb. 10).

Der Extrakt, der während der Extraktionszeit täglich umgerührt wurde, wies ab dem zweiten Tag eine höhere Anzahl von Mikroorganismen im Vergleich zur Variante mit dem einmaligen Rühren auf. Die höchste Anzahl ergab sich am dritten Tag. Der Unterschied zwischen den beiden Varianten betrug  $5 \times 10^6$ . Bei der mit Glukose angereicherten Variante (Ke3) ergab sich die höchste Anzahl am dritten und vierten Tag, mit einer Differenz zu den anderen Varianten von  $25 - 28 \times 10^6$  (Abb. 11).

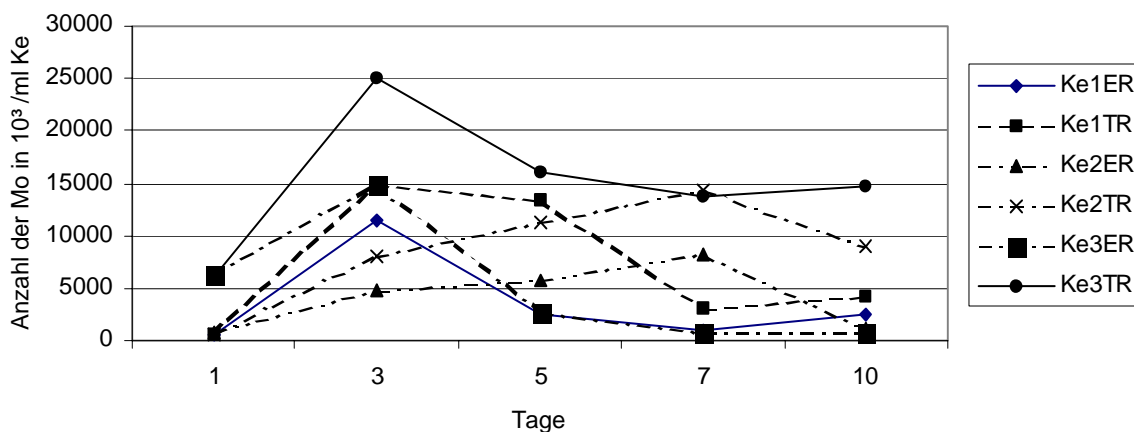


Abbildung 10: Anzahl der Mikroorganismen in Abhängigkeit von der Extraktionszeit und der Frequenz des Umrührens (Ke1ER = Diocou2 zu Beginn einmal rühren, Ke1TR = Diocoul2 täglich rühren, Ke2ER = Conakry2 zu Beginn einmal rühren, Ke2TR = Conakry2 täglich rühren, Ke3ER = Lome2 zu Beginn einmal Rühren, Ke3TR = Lome2 täglich Rühren, n = 5)

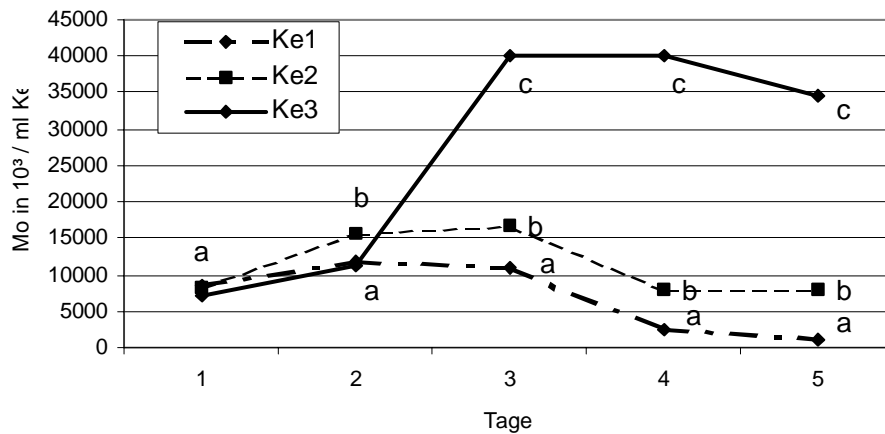


Abbildung 11: Anzahl der Mikroorganismen in Abhängigkeit von der Extraktionszeit, der Frequenz des Umrührens während der Extraktionszeit und der Zugabe von Glukose (Ke1 = Diocoul2 zu Beginn einmal rühren, Ke2 = Diocoul2 = täglich rühren, Ke3 = Diocoul2 täglich rühren und Glukose) (signifikant bei  $\alpha = 0,1$  Nemenyi-Test,  $n = 4$ )

Bei drei Komposten unterschiedlichen Alters aus Conakry wurde die Anzahl der Mikroorganismen in den Extrakten in Abhängigkeit von der Extraktionszeit untersucht. Der Ke1 erreichte seine höchste Koloniedichte nach vier Tagen und nahm allmählich bis zum 15. Tag ab, hingegen wurde im Ke2 die höchste Mikroorganismendichte nach zwölf Tagen und in dem Ke3 nach sieben Tagen festgestellt (Abb. 12).

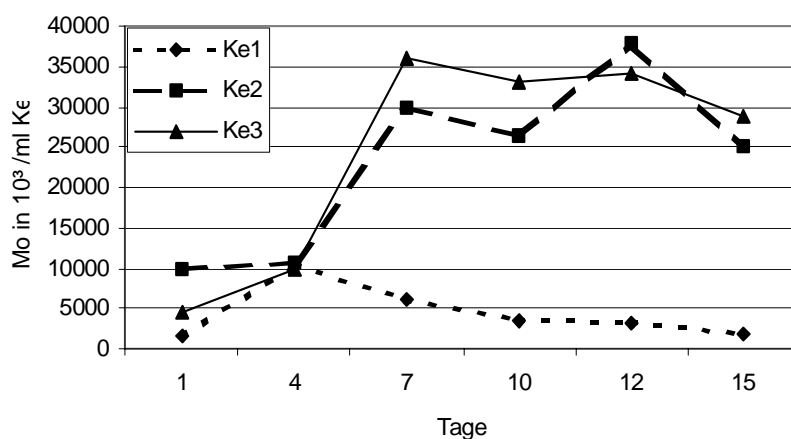


Abbildung 12: Anzahl der Mikroorganismen in Abhängigkeit von der Extraktionszeit und dem Kompostalter (Lagerungszeit: Ke1 = 14 Monate, Ke2 = 5 Monate, Ke3 = 2 Monate,  $n = 3$ )

#### 4.5 Bakterienbestimmung und Plattentests

Das Bakterienspektrum aus sechs verschiedenen Komposten wurde nach einer Extraktionszeit von drei Tagen erfasst. Die Ausplattierung der Extrakte erfolgte auf selektiven Nährmedien (KAB, *Streptomyces*-Agar, 50 µl). Die Kolonien wurden quantitativ bestimmt, die häufig aufgetretenen Bakterien weiter überimpft und anhand des Fettsäuremusters identifiziert (Tab. 38). Ursache für die nur geringe Anzahl an identifizierten Bakterien in den Extrakten aus Castor und T. madina ist, dass bei mehreren Mikroorganismen eine Bestimmung nicht vorgenommen werden konnte.

Tabelle 38: Identifikation der Bakterien in Abhängigkeit von der Herkunft der Extrakte

Extrakte	Diocoul	Castor	Conakry	Timbi madina	Lome	Tsevie
Bakterien	<i>Brevibacterium casei</i>	<i>Nocardia asteroides</i>	<i>Pseudomonas balearica</i>	<i>Pseudomonas stutzeri</i>	<i>Sphingobacterium spiritivorum</i>	<i>Pseudomonas stutzeri</i>
	<i>Pseudomonas putida</i>		<i>Bacillus pumilus</i>		<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	<i>Brevibacterium epidermitis</i>
	<i>Micrococcus luteus</i>		<i>Nocardia asteroides</i>		<i>Aeromonas salmonicida</i>	<i>Gordona terrae</i>
	<i>Pseudomonas alcaligenes</i>		<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>		<i>Micrococcus luteus</i>	<i>Micrococcus luteus</i>
	<i>Brevibacterium epidermitis</i>		<i>Nocardia noda</i>		<i>Brevibacterium epidermitis</i>	<i>Brevibacterium casei</i>
	<i>Pseudomonas balearica</i>		<i>Pseudomonas stutzeri</i>		<i>Pseudomonas putida</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
	<i>Pseudomonas mendocina</i>		<i>Alcaligenes plechaudii</i>		<i>Pseudomonas balearica</i>	<i>Pseudomonas balearica</i>
	<i>Pseudomonas putida</i>		<i>Pseudomonas mendocina</i>		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Pseudomonas pseudoalcaligenes</i>
	<i>Bacillus licheniformis</i>		<i>Nesterenkonia halobia</i>		<i>Cellulomonas flavigena</i>	
	<i>Pseudomonas stutzeri</i>		<i>Pseudomonas stutzeri</i>		<i>Pseudomonas syringae</i>	
	<i>Pseudomonas pseudoalcaligenes</i>		<i>Bacillus lentimorbus</i>			
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>					

Die Prüfung von 37 mikrobiellen Isolaten aus drei Kompostextrakten im Dual Culture Test ergab bei 17 Isolaten (46 % der insgesamt getesteten Isolate) antagonistische Aktivität gegen *A. solani* oder *C. gloeosporioides*. Die Prüfung auf antagonistische Wirkung zeigte ferner, dass drei Isolate (8 %) nur gegen *A. solani* Hemmzonen hervorriefen, sechs (16 %) nur gegen *C. gloeosporioides* und acht (22 %) gegen beide Pathogene (Abb.13). Starke Hemmzonen (über 15 mm) erreichten fünf (13,5 %) bakterielle Antagonisten, am stärksten das Isolat B4 (Conakry) mit 30 mm gegen As und 25 mm gegen Cg (Tab.39). Bei lichtmikroskopischen Aufnahmen wurde eine Deformation des Myzels von *C. gloeosporioides* nach der Wirkung des Bakteriums *Bacillus licheniformis* beobachtet (Abb. 14; siehe Anhang 1a-d).

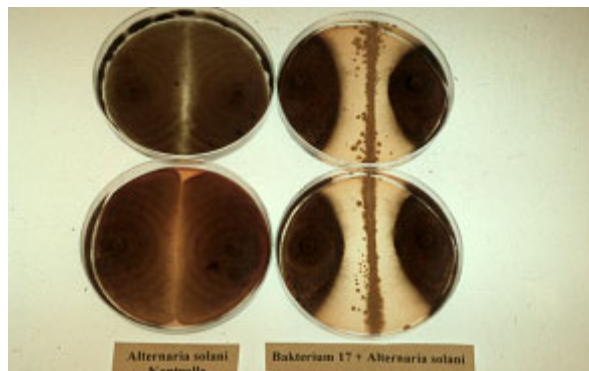


Abbildung 13: Antagonistische Wirkung eines Bakteriums in vitro gegen *A. solani*

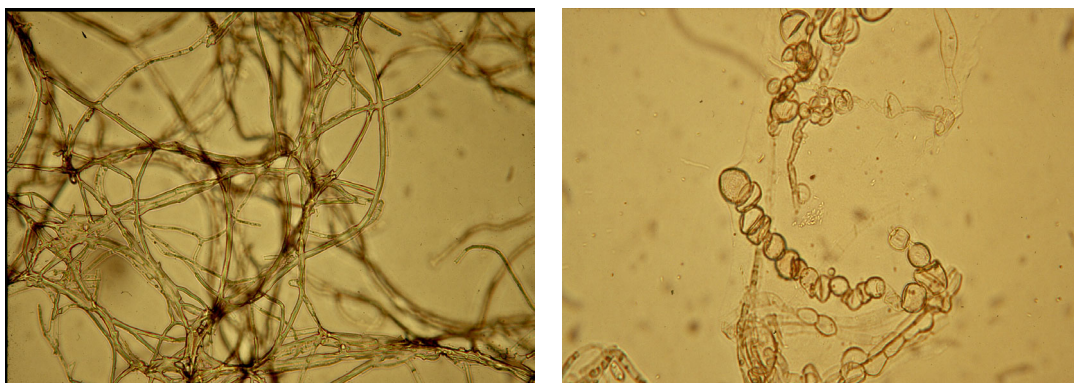


Abbildung 14: Normales Myzel von *C. gloeosporioides* (links) und deformiertes Myzel nach der antagonistischen Wirkung von *B. licheniformis* in vitro

Tabelle 39: Herkunft und durchschnittliche Hemmzonen bakterieller Antagonisten gegen *A. solani* und *C. gloeosporioides* (n = 4) (siehe Anhang 3a)

Pathogene		<i>A. solani</i>	<i>C. gloeosporioides</i>
		Hemmzone (mm)	
Kompostextrakt	Antagonisten		
	<i>P. balearica</i>	0	0
	<i>P. mendocina</i>	0	0
	<i>P. putida</i>	0	0
	<i>P. pseudoalcaligenes</i>	0	0
Diocoul	<i>P. stutzeri</i>	0	5
	<i>B. licheniformis</i>	25	7-10
	B8	5	5
	B11	0	0
	B16	0	0
	<i>P. balearica</i>	0	0
	B2	15-18	10
	<i>Nesterkonia halobia</i>	0	6
	B4	30	25
	B5	0	5
Conakry	<i>B. pumilus</i>	13	4
	B7	0	0
	<i>Nocardia asteroides</i>	8	5
	B9	0	0
	B10	0	0
	<i>Alcaligenes piechaudii</i>	0	0
	B12	0	0
	B13	20	0
	<i>P. stutzeri</i>	0	0
	B1	0	0
Lome	B2	0	6
	B3	7	3
	B4	0	0
	<i>Aeromonas salmonicida</i>	8	0
	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	15	10
	B7	0	0
	B8	0	0
	B9	8	0
	<i>Sphingobacterium spiritivorum</i>	0	5
	<i>Micrococcus luteus</i>	0	0
Kontrolle	<i>Brevibacterium epidermitis</i>	0	5
	<i>P. putida</i>	0	0
	B14	0	0
		0	0

Das Bakterium *P. aeruginosa* wurde auf zwei Nährmedien (PDA und NA) im Dual Culture Test gegen *C. gloeosporioides* getestet. Auf PDA betrug die Hemmzone eine Woche nach dem Auftragen 11 mm und auf Nutrient-Agar 25 mm (Tab. 40).

Tabelle 40: Wirkung des Bakteriums in Abhängigkeit vom Nährmedium (n = 5)

Nährmedium	PDA	NA
	Hemmzone (mm)	
Kontrolle	<b>0</b>	<b>0</b>
<i>Cg + P. aeruginosa</i>	<b>11</b>	<b>25</b>

Es wurde untersucht, ob auch nach der Entfernung der Mikroorganismen aus den Extrakten die Filtrate noch gegen die Pathogene wirksam sind. Extrakte (8 Tage Ez, 1:4 K/W) wurden mittels einer kleinen Filterspritze steril als Strich in die Mitte der Petrischalen mit PDA aufgetragen und am Rande zwei Myzelstücke von *A. solani* platziert. Der Extrakt aus Conakry3 rief eine Hemmzone von 10 mm hervor, der aus T. madina1 eine von 13 mm. Der aus Diocoul2 zeigte keine hemmende Wirkung gegen das Wachstum von *A. solani* mehr (Tab. 41).

Tabelle 41: Wirkung steriler Extrakte (8 Tage Ez, 1:4 K/W) gegen *A. solani* in vitro (n = 3); 28.12.2000

Pathogen	<i>A. solani</i>
Extrakte	Hemmzone (mm)
Conakry3	<b>10</b>
Timbi madina1	<b>13</b>
Diocoul2	<b>0</b>
Kontrolle	<b>0</b>

Sterile Extrakte (Ez 5 Tage, 1:4 Konzentration K/W) wurden in vitro auf die Bildung von fungistatischen Stoffen gegenüber *A. solani* untersucht. Innerhalb von zwei Wochen konnten die Extrakte (Diocoul2, Conakry3, Lome3) keine Hemmzone hervorrufen. Im dritten Versuch wurden die sterilen Extrakte (Diocoul2, Lome3, Conakry3) in drei Löcher entlang des Durchmessers der Petrischale einpipetiert. Die Extrakte (Ez 3 Tage, 1:3 K/W Konzentration) riefen keine Hemmzone gegen *A. solani* und *C. gloeosporioides* hervor. Extrakte aus Diocoul2 und Lome3 (Ez 9 Tage 1:3 K/W Konzentration) wurden sterilisiert oder autoklaviert. Das Nährmedium wurde zur Hälfte mit PDA und zur Hälfte mit den sterilen bzw. autoklavierten Extrakten hergestellt. Die Pathogene *A. solani* und *C.*

*gloeosporioides* wurden in die Mitte der Petrischale aufgetragen und in bestimmten Zeitabständen wurde das Wachstum der Kolonien gemessen. Bei den Platten mit den sterilen oder autoklavierten Extrakten konnte keine Verminderung des Wachstums der Pathogene festgestellt werden (Tab.42).

Tabelle 42: Wachstum der Pathogene auf Nährmedien mit autoklavierten bzw. sterilen Kompostextrakten (9 Tage Ez, 1:3 K/W)(n = 5); 12.07.2001

Extrakte	<i>A. solani</i>				<i>C. gloeosporioides</i>			
	5 Tage	7 Tage	10 Tage	14 Tage	5 Tage	7 Tage	10 Tage	14 Tage
	Wachstum in mm							
Lome3 autok.					39	41	63	80
Lome3 steril					38	42	66	85
Diocoul2 autok .	7	9	10	15				
Diocoul2 steril	11	15	16	21				
Kontrolle	7	9	10	15	38	42	66	85

Extrakte (Ez 8 Tage, 1:5 Konzentration) wurden als Strich in der Mitte einer Petrischale auf PDA aufgetragen. Am Rand wurden zwei Myzelstücke von *A. solani* platziert. Die Extrakte aus Conakry1, Diocoul1, Lome1 und Castor1 riefen eine Hemmzone von 15–20 mm hervor (Abb.15; Tab.43) .

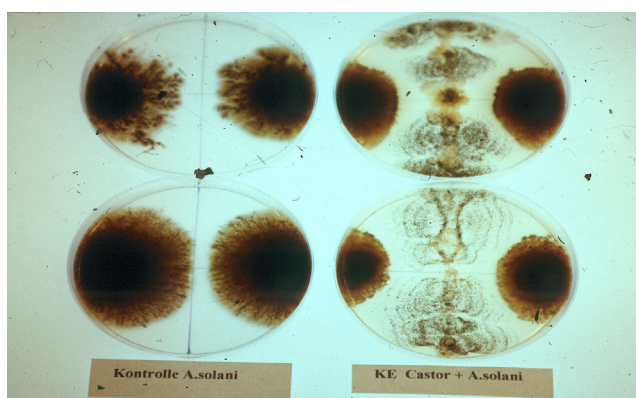


Abbildung 15: Wirksamkeit der Extrakte (in vitro) gegen *A. solani*



Tabelle 43: Wirksamkeit der Extrakte in vitro gegen *A. solani* (n = 4)

Pathogen	<i>A. solani</i>
Extrakte	Hemmzone (mm)
Lome1	18
Diocoul1	20
Castor1	21
Conakry1	18
Kontrolle1	0

#### 4.6 Reisolation

Die Untersuchungen in der Phyllosphäre sollten Hinweise auf die Einflussfaktoren für die Koloniedichte geben (cfu/cm<sup>2</sup> Blattfläche), vor allem der *Pseudomonas*, nach der Applikation von Extrakten auf die zeitliche Entwicklung der Mikroorganismen. Direkt nach der Applikation der Extrakte wurden auf der Blattfläche der Tomate 1555 cfu/cm<sup>2</sup> beim Ke1 ermittelt und 3128 cfu/cm<sup>2</sup> Kolonien beim Ke2. Auf der Kontrolle wurden 24 cfu/cm<sup>2</sup> gemessen (Abb. 16). Über die folgenden fünf Tage nahm die Anzahl der Mikroorganismen ab und erreichte 286 cfu/cm<sup>2</sup> beim Ke1 und 716 cfu/cm<sup>2</sup> beim Ke2. Die Abbildung 17 stellt die zeitliche Entwicklung der Koloniedichte in der Phyllosphäre dar.

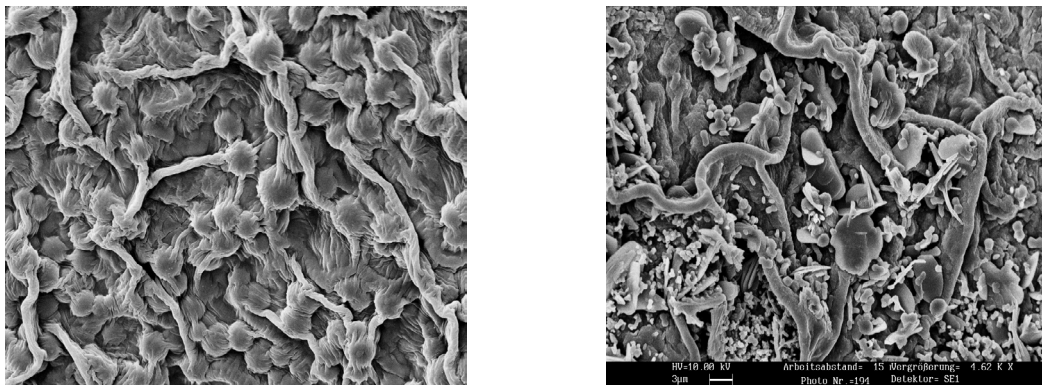


Abbildung 16: Elektronenmikroskopische Aufnahme von Tomatenblättern, unbehandelt (links) und mit Extrakten behandelt (rechts)

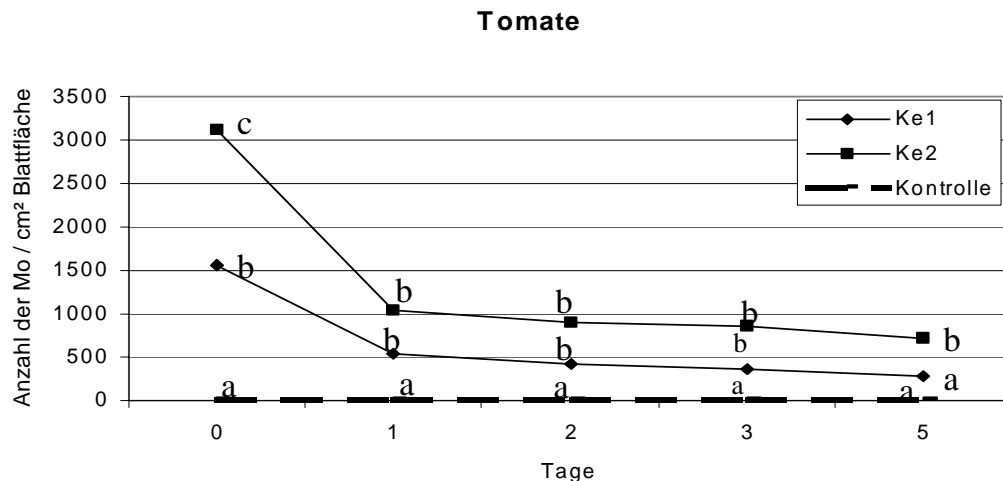


Abbildung 17: Populationsentwicklung in der Phyllosphäre der Tomate in bestimmten Zeitabständen nach der Applikation der Extrakte (Ke1 = Diocoul2, Ke2 = Lome3) (3 Tage Ez, 1:5 K/W) (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test,  $n = 3$ ); 03.08.01

Direkt nach der Applikation der Extrakte befand sich eine höhere Anzahl von Mikroorganismen auf der Blattfläche der Batate (Sorte Nadang) im Vergleich zu der unbehandelten Variante. Die Koloniedichte betrug beim Extrakt aus Lome3 4370 cfu/cm<sup>2</sup> Blattfläche, 3176 cfu/cm<sup>2</sup> beim Extrakt aus Diocoul2 und 2388 cfu/cm<sup>2</sup> bei dem aus Conakry3. Nach fünf Tagen reduzierte sich die Anzahl jeweils auf 716 cfu/cm<sup>2</sup> (Lome3), 1360 cfu/cm<sup>2</sup> (Diocoul2) und 692 cfu/cm<sup>2</sup> (Conakry3). Die Koloniedichte bei der Kontrollvariante lag innerhalb von fünf Tagen unverändert bei 126cfu/cm<sup>2</sup> (Abb. 18).

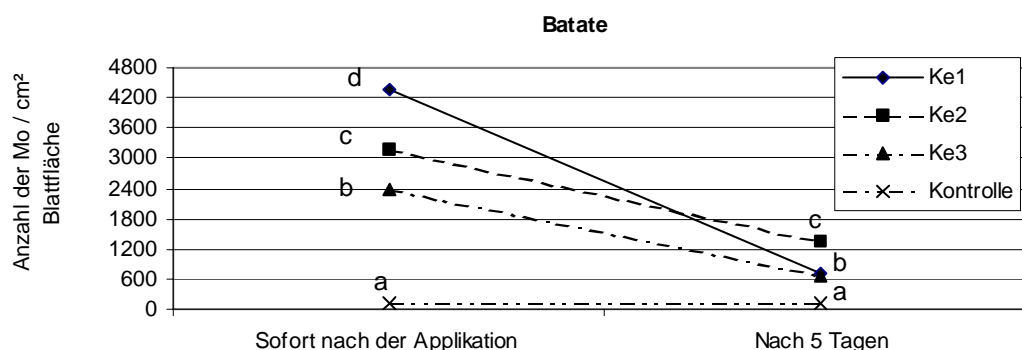


Abbildung 18: Populationsentwicklung in der Phyllosphäre der Batate in bestimmten Zeitabständen nach der Applikation der Extrakte (Ke1 = Lome3, Ke2 = Diocoul2, Ke3 = Conakry3) (3 Tage Ez, 1:3 K/W) (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test,  $n = 3$ )

Hierbei sollte geprüft werden, inwiefern die Formulierungshilfsstoffe die Anzahl der Mikroorganismen (*Pseudomonas*) auf der Blattfläche fördern. Die Extrakte aus Lome3 wurden mit Alginat, Xanthan oder Zellulose (0,2%) angereichert und an Tomaten- und Batatepflanzen appliziert. Die Koloniedichte bei den Varianten mit Formulierungshilfsstoffen verhielt sich uneinheitlich. Nach dem ersten Tag nahm die Anzahl ab, erhöhte sich dann am zweiten Tag und reduzierte sich schließlich wieder geringfügig am dritten Tag. Die Koloniedichte in der Phyllosphäre der Bataten, die mit dem Extrakt ohne Fhs behandelt wurden, nahm bis zum zweiten Tag ab, erhöhte sich ab dem dritten Tag und lag dann wesentlich höher als bei den anderen Varianten (Abb. 19).

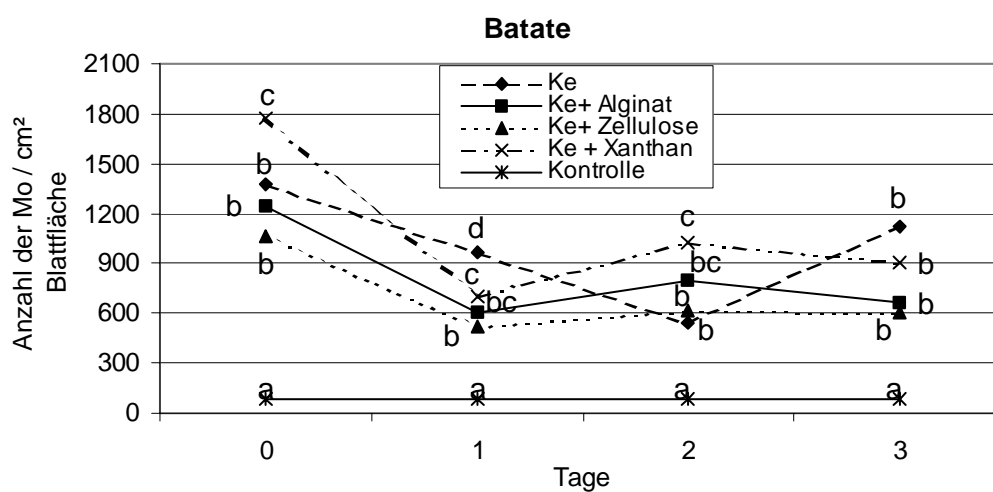


Abbildung 19: Entwicklung der Anzahl der Mikroorganismen in der Phyllosphäre der Batate in bestimmten Zeitabständen nach der Behandlung mit Extrakten, angereichert mit Formulierungshilfsstoffen (3 Tage Ez, 1:5 K/W) (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test,  $n = 3$ ) 03.08.2001

Auch bei der Tomate nahm die Koloniedichte bei allen Varianten nach dem ersten Tag ab und erhöhte sich am zweiten und dritten Tag leicht bei den Varianten Ke, Ke + X., Ke + Z. Am dritten Tag wurde die höchste Anzahl von Mikroorganismen bei der Variante Ke + Xanthan festgestellt (Abb. 20).

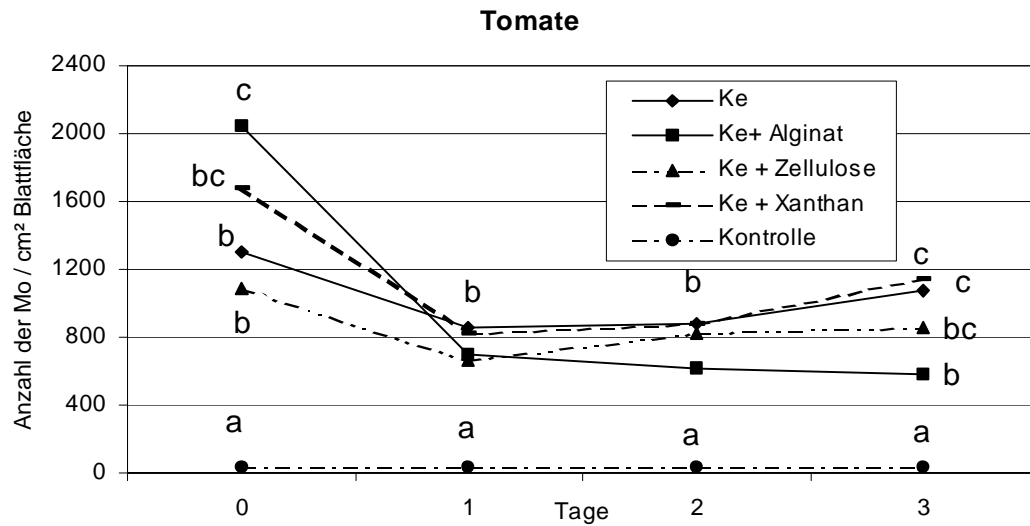


Abbildung 20: Entwicklung der Anzahl der Mikroorganismen in der Phyllosphäre der Tomate in bestimmten Zeitabständen nach der Behandlung mit Extrakten, angereichert mit Formulierungshilfsstoffen (3 Tage, 1:5 K/W) (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test,  $n = 3$ ); 03.08.2001

#### 4.7 Messung der Enzymaktivität

Batatepflanzen (Sorte H-20) wurden mit den Extrakten aus Diocoul2, Lome2 und Conakry3 behandelt. Im Laufe von zwei Tagen wurden Blätter entnommen und auf Chitinase-Aktivität bei zwei unterschiedlichen Temperaturen hin untersucht. Weder nach dem ersten Tag noch am zweiten wurde eine Erhöhung der Aktivität im Vergleich zur Kontrollvariante festgestellt. Die Aufbereitung der Batateproben bei 25°C ergab keine höheren Werte der Chitinase-Aktivität im Vergleich zu der bei 37°C (Abb. 21).

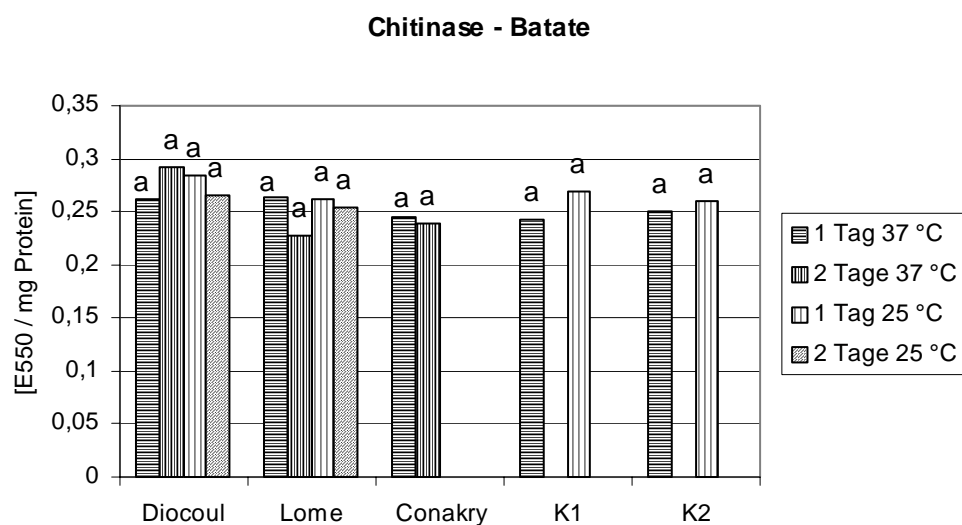


Abbildung 21: Chitinase-Aktivität an Batateblättern in Abhängigkeit von der Aufbereitung der Proben und der Induktionszeit (K1 = Kontrolle, die Pflanzen wurden mit Wasser behandelt, K2 = Kontrolle ohne Wasser) (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test,  $n = 3$ ); 08.07.01

Tomaten- und Batatepflanzen wurden mit Extrakten behandelt und im Laufe von sechs Tagen täglich Blattproben entnommen. Die Blattproben wurden auf  $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität untersucht und diese wurde quantitativ bestimmt. Vier Tage nach der Behandlung konnte ein leichter Anstieg der  $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität bei jenen Pflanzen, die mit den Extrakten aus Lome3 und Conakry3 besprüht worden waren, festgestellt werden. Bei den Batateblättern, die mit dem Extrakt aus Diocoul2 behandelt worden waren, ergab sich die höchste Aktivität bereits nach zwei Tagen (Abb. 22).

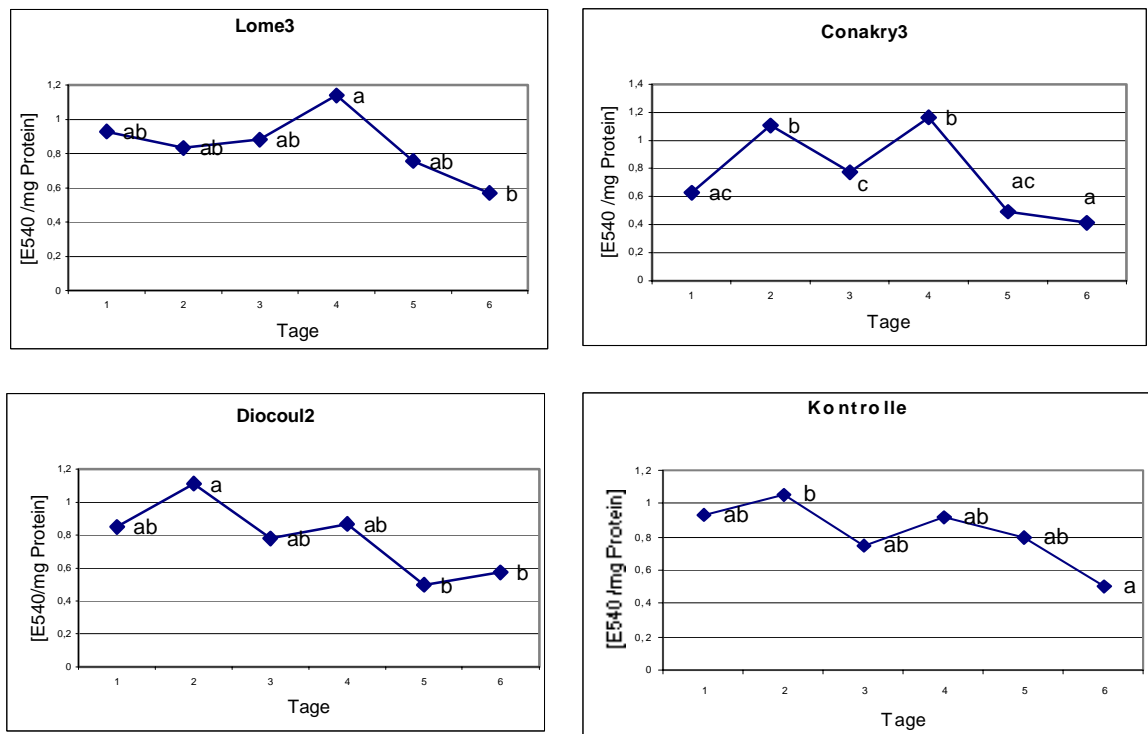


Abbildung 22:  $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität in der Batate nach der Behandlung mit Extrakten (3 Tage Ez, 1:4 K/W); 28.08.2001 (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test innerhalb der einzelnen Varianten,  $n = 3$ )

Die Untersuchungen der Enzymaktivität ( $\beta$ -1,3-Glucanase) innerhalb der einzelnen Tage ergaben keine eindeutigen Ergebnisse. Relativ zur Kontrolle erhöhte sich die Aktivität nur am vierten Tag signifikant bei den Varianten Lome3 und Conakry3 (Abb. 23). An der Tomate wurde die höchste Enzymaktivität nach vier Tagen in den Pflanzen festgestellt, die mit den Extrakten aus Diocoul2 und Conakry3 behandelt worden waren, nach drei Tagen hingegen in den mit Extrakt aus Lome3 behandelten. Im Vergleich zu den Kontrollpflanzen wurden nur bei den Pflanzen, die mit dem Extrakt aus Diocoul2 behandelt worden waren, höhere Werte nachgewiesen (Abb. 24).

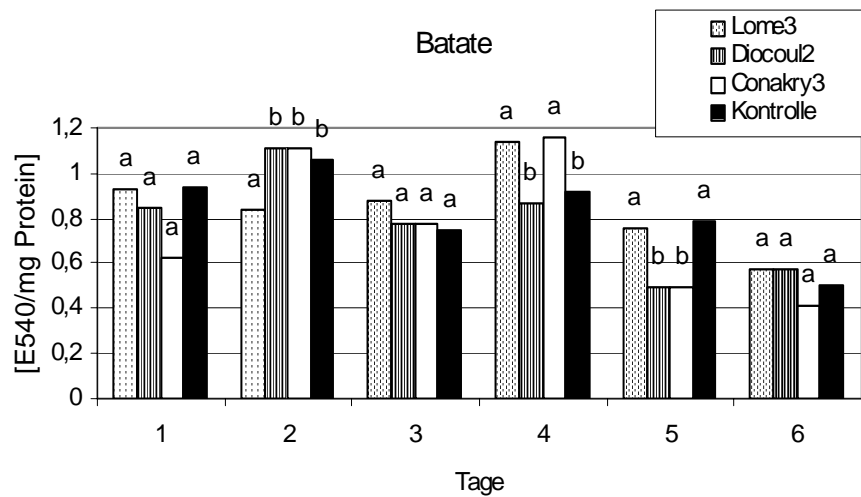


Abbildung 23:  $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität in der Batate nach der Behandlung mit Extrakten (3 Ez, 1:4 K/W) (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test innerhalb der einzelnen Tage, n = 3); 28.08.2001

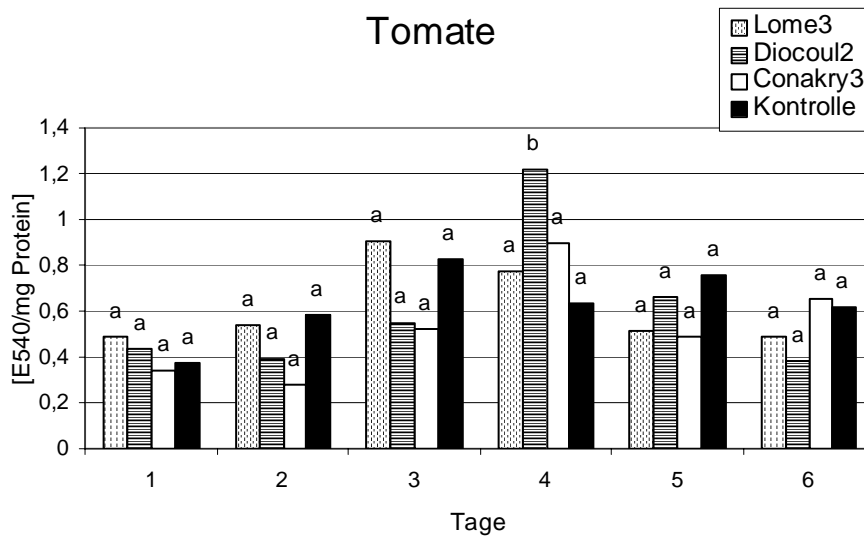


Abbildung 24:  $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität in der Tomate nach der Behandlung mit Extrakten (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test innerhalb der einzelnen Tage, n = 3) (3 Tage Ez, 1:4 K/W); 28.08.2001

Die über sechs Tage beobachtete Enzymaktivität ( $\beta$ -1,3-Glucanase) erhöhte sich am vierten Tag bei den Varianten Diocoul2 und Conakry3, dagegen in der Variante von Lome3 schon drei Tage nach der Applikation der Extrakte (Abb. 25).

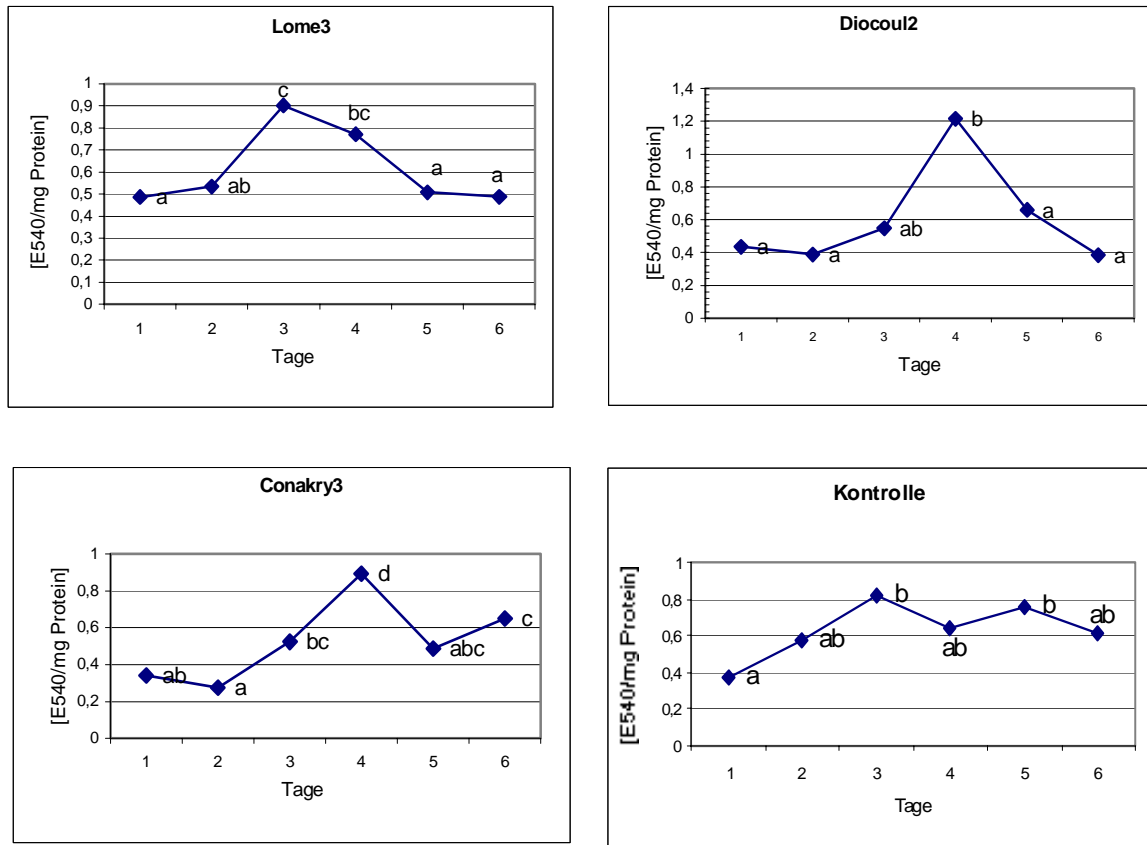


Abbildung 25:  $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität in der Tomate nach der Behandlung mit Extrakten (3 Tage K/W, 1:4 K/W) (signifikant bei  $\alpha = 0,05$  im Tukey-Test innerhalb der einzelnen Varianten,  $n = 3$ ); 28.08.2001

#### 4.8 Pflanzenverträglichkeit der Extrakte, Trocken- und Frischmasse Bestimmung der Pflanzen und pH-Wert der Extrakte

Behandelte Tomatenpflanzen (Sorte St. Pierre) und Kontrolle zeigten im Wesentlichen die gleichen Symptome. Während des Versuches wurden die Pflanzen unter Gewächshausbedingungen kultiviert. In Abbildung 26 wird die Anzahl der Blätter mit Verfärbungen (in %) dargestellt.



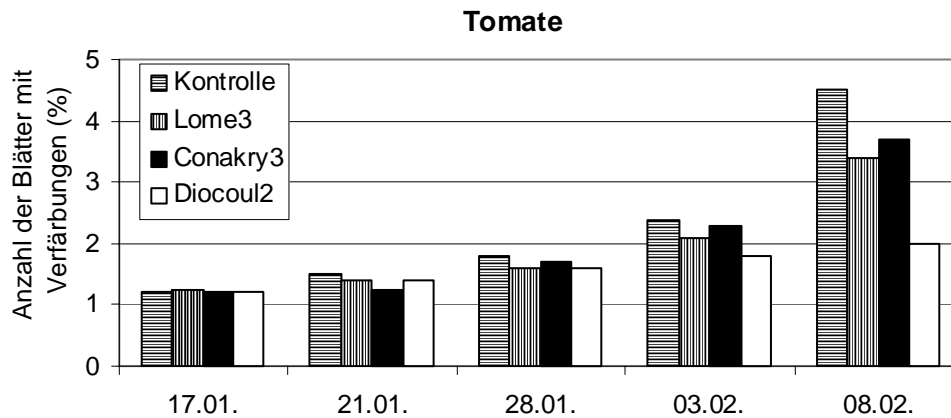


Abbildung 26: Ermittlung der Phytotoxizitätssymptome an der Tomate nach fünf Applikationen mit Extrakten (5 Tage Ez, 1:4 K/W, n = 10)

Nach der fünften Applikation – es gab eine pro Woche – wurden die Pflanzen hinsichtlich ihrer Frisch- und Trockenmasse untersucht. Pflanzen, die mit dem Extrakt aus Diocoul2 behandelt worden waren, wiesen eine höhere Frisch- und Trockenmasse als die anderen Varianten auf (Tab.44).

Tabelle 44 Bestimmung der Frisch- bzw. Trockenmasse von Tomatenpflanzen nach fünf Applikationen mit Kompostextrakten (5 Tage Ez, 1:4 K/W) (signifikant bei  $\alpha = 0,1$  im Tukey-Test, n = 10)

Extrakte	Frischmasse (g)	Trockenmasse (g)
Kontrolle	93,1 ab	8,3 ab
Lome3	94,2 ab	8,3 ab
Diocoul2	99,3 a	10,1 b
Conakry3	91,7 b	7,9 ab

Batatepflanzen (Sorte H-20) wurden über einen Gesamtzeitraum von vier Wochen einmal pro Woche mit Kompostextrakten behandelt. Die Pflanzen wurden vor der Applikation makroskopisch bonitiert, bzw. die Anzahl der Blätter mit Verfärbungen wurde ermittelt. Bei der Kontrollvariante und den Extrakten aus Lome3, Diocoul2 und Conakry3 nahm die Anzahl der Blätter mit Verfärbungen im Laufe von vier Wochen zu (Abb. 27).

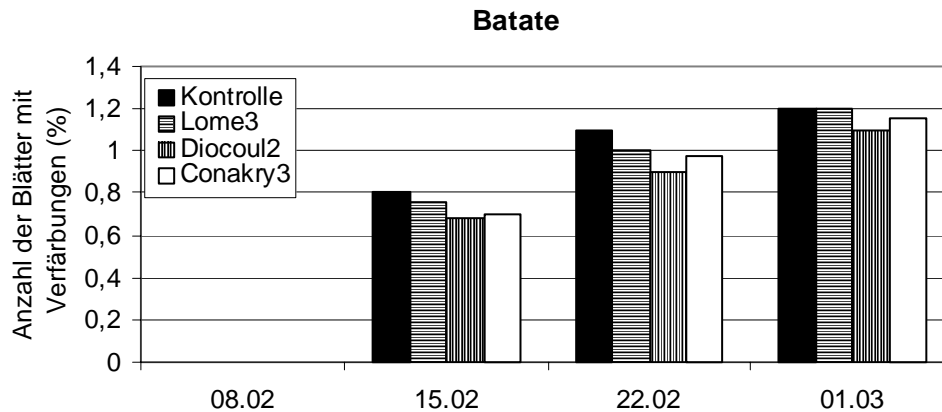


Abbildung 27: Ermittlung der Phytotoxizitätssymptome an der Batate nach vier Applikationen mit Extrakten (5 Tage Ez, 1:4 K/W, n = 10)

Die Spritzbehandlungen der Pflanzen mit Extrakten verursachten keine signifikanten Unterschiede in Hinsicht auf die Frisch- bzw. Trockenmasse. Erstere schwankte zwischen 54 – 60 g in allen Varianten, die Trockenmasse zwischen 6 – 6,8 g (Tab. 45).

Tabelle 45: Bestimmung der Frisch- bzw. Trockenmasse von Batatepflanzen nach vier Applikationen mit Extrakten (5 Tage Ez, 1:4 K/W) (signifikant bei  $\alpha = 0,1$  im Tukey-Test, n = 10)

Extrakte	Frischmasse (g)	Trockenmasse (g)
Kontrolle	57,9 a	6,4 a
Lome3	54,8 a	6 a
Diocoul2	56,4 a	6,8 a
Conakry3	60,1 a	6,4 a

Die pH-Werte wurden während der dreijährigen Versuchsdurchführung jeweils für alle einzelnen Extrakte ermittelt. Sie lagen im alkalischen Bereich. Aus der Tabelle 46 sind die entsprechenden Werte zu entnehmen.

Tabelle 46: pH-Wert der Extrakte

Extrakte	Diocoul	Castor	Conakry	T. madina	Lome	Tsevie
pH-Wert	7,7 – 8,6	7,9 – 8,1	8,2 – 8,7	7,9 – 8,5	8,2 – 8,8	8,1 – 8,7

Während einer Extraktionszeit von 15 Tagen wurde der pH-Wert der Extrakte aus T. madina1 und aus Lome1 alle zwei Tage gemessen. Der pH-Wert des Extraktes aus T. madina1 stieg in den ersten fünf Tagen an und erreichte einen Wert von 8,3. Der Extrakt aus Lome1 wies über die ersten sieben Tage hinweg einen nahezu konstanten Wert von 8,5–8,6 auf, nahm zwischen dem neunten und elften Tag leicht ab und erreichte in den letzten drei Tagen einen Wert von 8,4 (Tab. 47).

Tabelle 47: pH-Wert der Extrakte in Abhängigkeit von der Extraktionszeit

Extrakte	Timbi madina1	Lome1
Extraktionszeit	pH-Wert	
1 Tag	7,9	8,6
3 Tage	8,1	8,5
5 Tage	8,3	8,6
7 Tage	8,2	8,5
9 Tage	8,1	8,3
11 Tage	7,9	8,1
13 Tage	8,1	8,4
15 Tage	8,2	8,4

## 5 Diskussion

### 5.1 Wirkung von wässrigen Kompostextrakten

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die präventive Applikation von wässrigen Kompostextrakten einen Befall der Tomate (Sorte St. Pierre, Rheinlandsruhm und Xina) durch *Alternaria solani* vermindert. Das gleiche gilt für das Pathosystem *Colletotrichum gloeosporioides* – Maniok. Alle Kompostextrakte (Herkunft Senegal: Diocoul, Castor; Guinea: Conakry, Timbi madina; Togo: Lome, Tsevie) haben den Befall an der Tomate und am Maniok an abgetrennten Blättern und an der Pflanze signifikant reduziert. Im Pathosystem Tomate (abgetrennte Blätter) – *A. solani* erzielten die Extrakte eine Befallsverminderung um bis zu 94 % im Vergleich zur Kontrollvariante. An Tomatenpflanzen wurde die Befallshäufigkeit bis um 66 % und die befallene Blattoberfläche bis um 86 % reduziert. Bei Freilandversuchen an der Tomate in Togo konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt werden (SOMANA, 2001), während bei Versuchen in Dakar (Senegal) der Befall von *A. solani* an Tomatenpflanzen bis um 62 % vermindert wurde. Im Vergleich zu den Einzelbehandlungen mit wässrigen Extrakten führte die Kombination von wöchentlichen Spritzbehandlungen entweder mit wässrigen Extrakten oder mit Fungiziden zu einer effektiveren Bekämpfung von *A. solani* und erzielte eine gleich starke Befallsreduktion des Pathogens wie die Fungizidvariante. Weiterhin bewirkten die Kombinationsbehandlungen eine Steigerung der Anzahl und des Gewichtes der Früchte pro Pflanze an der Tomate (SECK, 2001).

Die Extrakte zeigten auch eine gute Wirkung gegen *C. gloeosporioides* an abgetrennten Maniokblättern. Die Anzahl der gebildeten Acervuli pro Quadratcentimeter Blattoberfläche wurde bis um 87 % im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle reduziert. Bei Versuchen im Freiland in Togo wurde der Befall, relativ zur Kontrolle, mit *C. gloeosporioides* um 50 % vermindert, wobei die Häufigkeit der Applikationen eine wichtige Rolle spielte. Innerhalb von fünf Monaten gelang es, das Pathogen um 50 % bei 14 Spritzbehandlungen zu verringern, während 7 Behandlungen eine Befallsreduktion um 30 % erzielten (SOMANA, 2001). Bei Versuchen an Maniok, in deren Rahmen man Kompost in den Boden ausbrachte und während der Vegetationsperiode Spritzapplikationen mit Extrakten durchführte, wurde die Anzahl der Maniokknollen sowie das Gewicht der einzelnen Knollen im Feld erhöht. Die hohe Wirksamkeit der Extrakte in Laborversuchen beruht wahrscheinlich darauf, dass die klimatischen Bedingungen kontrolliert werden sowie die Inokulation des Pathogens und die Spritzbehandlungen zeitlich aufeinander abgestimmt sind, während in Freilandversuchen

keine künstliche Inokulation erfolgt und die behandelten Pflanzen wechselnden klimatischen Verhältnissen ausgesetzt sind.

Eine direkte Wirksamkeit der Extrakte an der Batate konnte aufgrund des fehlenden Pathogens nicht untersucht werden. Die Bestimmung der Populationsdichte in der Phyllosphäre der Batate zeigte fünf Tage nach der Applikation der Extrakte eine höhere Anzahl an Mikroorganismen (*Pseudomonas*) im Vergleich zur Kontrolle. Bei der Untersuchung der  $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität nach der Behandlung der Pflanzen mit Extrakten ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. Die Messergebnisse deuten jedoch nicht darauf hin, dass die Proteinbildung von den Extrakten induziert wurde.

## 5.2 Einfluss der Extraktionsbedingungen

Die Wirksamkeit der Extrakte gegen die Pathogene wird erheblich von den Extraktionsbedingungen beeinflusst (KETTERER, 1990; STINDT und WELTZIEN, 1988). Daher wurde der Einfluss der Extraktionszeit, der Kompost-Wasser-Konzentration und der Umgebungstemperatur sowie der Häufigkeit des Durchmischens des Kompost-Wasser-Gemisches während der Extraktionszeit auf die Wirksamkeit und auf die Koloniedichte der Extrakte untersucht. Bei der Bestimmung der Koloniedichte (cfu/ml Extrakt) in Abhängigkeit von der Extraktionszeit wurde überwiegend mit selektiven Nährmedien für *Pseudomonas* und *Streptomyces* gearbeitet, und zwar aufgrund deren antagonistischen Potenzials. Innerhalb eines Untersuchungszeitraumes von zehn Tagen entwickelte sich in den Extrakten von Diocoul und Lome drei Tage nach dem Ansetzen die höchste Koloniedichte, in dem Extrakt von Conakry dagegen nach sieben Tagen. Auf der Basis dieser Ergebnisse fiel auch in Hinblick auf die weiteren Versuche die Entscheidung überwiegend zugunsten einer Extraktionszeit von drei bis acht Tagen.

Bei Untersuchungen zur Extraktionszeit ergaben sich im Rahmen der Tests keine wesentlichen Abweichungen hinsichtlich der Wirksamkeit gegenüber *A. solani* an der Tomate. In einem Zeitrahmen von drei bis neun Tagen unterdrückten die Kompostextrakte den Krankheitserreger erfolgreich. Die höchste Reduzierung des Befalls erzielte der Extrakt bei einer Extraktionszeit von fünf Tagen, mit einer Senkung um 19 % der Befallshäufigkeit und 25 % der befallenen Blattoberfläche im Vergleich zu dem Extrakt, der nach sieben Tagen abfiltriert wurde. Letztere Variante war die mit der geringsten Wirksamkeit. Die Differenz beim Befall zwischen den beiden Varianten ist vermutlich in erster Linie durch die

Koloniedichte zu erklären, denn nach 5 Tagen Extraktionszeit gab es vermutlich eine höhere Mikroorganismendichte als nach 7 Tagen. Im Pathosystem Maniok – *C. gloeosporioides* wurde der Einfluss der Extraktionszeit auf die Wirksamkeit bei drei Extrakten unterschiedlicher Herkunft untersucht, die bei drei verschiedenen Extraktionszeiten (5, 10, 15 Tagen) abfiltriert wurden. Bei dem Extrakt aus Tsevie ergab sich die höchste Wirksamkeit bei einer Extraktionszeit von 5 Tagen und wurde eine Befallsreduzierung um 5 % im Vergleich zu dem Extrakt, der nach 10 Tagen abfiltriert wurde, und um 26 % bei dem Extrakt, der nach 15 Tagen hergestellt wurde. Die Extrakte aus Castor und Conakry erzielten die höchste Befallsreduzierung, wenn sie nach 10 Tagen Extraktionszeit abfiltriert wurden. Sie wiesen dann eine Befallsdifferenz von 20 – 28 % in Relation zu den anderen Varianten auf. Möglicherweise lag die Befallsreduzierung in dem vorliegenden Versuch an der starken Vermehrung einzelner Mikroorganismengruppen zu bestimmten Extraktionszeiten, die eine entscheidende Rolle für die Unterdrückung des Pathogens spielen, und nicht an einer höheren Koloniedichte bei dieser Extraktionszeit. Über die Bedeutung der einzelnen Mikroorganismengruppen für die Unterdrückung eines Pathogens wird von KETTERER und SCHWAGER (1992) berichtet. Der Befall von *Erysiphe polygoni* wurde von den Sporenbildnern und Enterobakterien stärker reduziert, während die *Pseudomonas* eine wichtige Rolle gegen *Phytophthora infestans* spielten. Des Weiteren wird, neben den dominierenden Mikroorganismengruppen, den freigesetzten Stoffwechselprodukten in den Extrakten eine wichtige Funktion zugesprochen, die zur Koloniedichte und Förderung einzelner Bakterienpopulationen beiträgt (STINDT, 1990). Bei langen Extraktionszeiten können die enthaltenen Nährstoffe erschöpft sein, dadurch wird die Teilung der Bakterienzellen unterbrochen und die Absterbphase der Zellen tritt ein, was allmählich zur Reduzierung der Koloniedichte in den Extrakten führen kann (ANDREWS, 1992).

Die Konzentration Wasser – Kompost wurde geprüft, um herauszustellen, in welcher Relation der Kompost mit dem Wasser überschichtet werden kann, ohne die Wirksamkeit der Extrakte negativ zu beeinflussen. Bei Versuchen an Tomatenpflanzen mit *A. solani* wurden die Extrakte bei drei unterschiedlichen Konzentrationen hergestellt (1:3, 1:5 und 1:10 K/W). Der Extrakt mit der Konzentration 1:5 erzielte die höchste Befallsreduzierung, nämlich eine Senkung um 8 % im Vergleich zu der Variante 1:3 K/W und um 15 % zu dem Extrakt, der 1:10 K/W überschichtet wurde. Bei Versuchen an abgetrennten Tomatenblättern wirkte der Extrakt aus Lome bei einer Konzentration von 1:5 K/W am effektivsten und der aus T. madina bei einem K/W-Verhältnis von 1:6. Hingegen erzielte der Extrakt aus Diocoul die höchste Befallsreduzierung bei einer Konzentration von 1:10. An

abgetrennten Maniokblättern wirkten schwach konzentrierte Extrakte in einem Verhältnis von 1:15 K/W effektiver gegen die Pathogene. Sie erzielten eine Senkung des Befalls um 87 % im Vergleich zur Kontrollvariante und um 27 % verglichen zu dem Extrakt, der 1:2,5 K/W überschichtet wurde. Die unterschiedlichen Ergebnisse bezüglich des Einflusses der Kompost-Wasser-Konzentration auf die Wirksamkeit der Extrakte beruht vermutlich auf der Herkunft der Extrakte und demzufolge auf den Stoffwechselprodukten und den Mikroorganismengruppen, die sich je nach Lebensraum und vorhandenen Nährstoffen in unterschiedlichem Maße vermehren (TRÄNKER, 1993). In stark konzentrierten Extrakten könnten die Mikroorganismen um Lebensraum und Nährstoffe konkurrieren und dementsprechend erhöht sich die Mortalitätsrate, während in den Konzentrationen 1:10 und 1:15 genügend Lebensraum für die Entwicklung und Vermehrung der verschiedenen Mikroorganismengruppen zur Verfügung steht. Unterschiede zwischen den durchgeführten Versuchen an abgetrennten Blättern und Pflanzen sind vermutlich darin begründet, dass die untersuchten Extrakte unterschiedlicher Herkunft waren, was wiederum eine unterschiedliche Zusammensetzung der in ihnen enthaltenen Mikroorganismen bedeutet. Weitere Untersuchungen zur Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Kompost-Wasser-Konzentration sind erforderlich, um die Ergebnisse dieser Arbeit zu verifizieren und zu ergänzen.

Bei den Untersuchungen zur Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur während der Extraktionszeit wurden die Kompost-Wasser-Gemische bei drei unterschiedlichen Temperaturen inkubiert (20°C, 30°C, 35°C). Die beste Wirksamkeit gegen *A. solani* erzielte der Extrakt, der einer Temperatur von 20°C ausgesetzt war. Er wies eine Verminderung des Befalls um 65 % im Vergleich zur Kontrolle auf. Die bessere Wirksamkeit bei der 20°C-Variante ist möglicherweise auf die höhere Anzahl der Mikroorganismen zurückzuführen, da hier die höchste Koloniedichte ermittelt wurde. Die höhere Mikroorganismenanzahl bei der Variante 20°C widerspricht dem Befund über optimale Temperaturen, bei denen die Bakteriengattungen *Pseudomonas* sp. und *Bacillus* sp. sich vermehren. Deren Temperaturoptima liegen eher im Bereich von 28–30°C, genauer: für *Pseudomonas* sp. bei etwa 28°C und für *Bacillus* sp. bei etwa 30°C (SNEATH et al., 1986). Eine niedrige Koloniedichte bei den Extrakten, die bei 30°C inkubiert wurden, liegt eventuell darin begründet, dass es bei dieser Temperatur eine höhere Vermehrungsrate gab, verbunden mit einer höheren Stoffwechselaktivität, die zu einem schnelleren Verbrauch der verfügbaren Nährstoffe geführt haben könnte und in der Folge eine hohe Mortalität bewirkte. Weiterhin entsprach die Temperatur von 20°C während der Extraktionszeit annähernd der Temperatur der Klimakammer (23°C), in der die Pflanzen während der Applikation der Extrakte und künstlichen Inokulation standen. Dies war von

Vorteil für die Aktivität der Mikroorganismen, da die Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur in der Klimakammer und der des Extraktes niedriger war als bei den 30°C- und 35°C-Varianten, was eine schnellere Anpassung der Bakterien an die Umgebungstemperatur ermöglichte (SELLNER, 1997).

Zur Förderung der aeroben Mikroorganismen und zur Erhöhung der Koloniedichte wurde die Häufigkeit des Umrührens des Kompost-Wasser-Gemisches während der Extraktionszeit untersucht. Eine tägliche Durchmischung des Wasser-Kompost-Gemisches erhöhte die Wirksamkeit des Extraktes sowie die Anzahl der Mikroorganismen. Eine tägliche Durchmischung bewirkte eine höhere Unterdrückung des Befalls: an Tomate – *A. solani* um 36 % und an Maniok – *C. gloeosporioides* um 9 % im Vergleich zu der Variante, die nur zu Beginn einmal durchmischt wurde. Die Koloniedichte wurde in dem Extrakt aus Conakry, der täglich umgerührt wurde, um das siebenfache erhöht. Ursache für die Wirkungsunterschiede zwischen den Varianten dürfte die höhere Mikroorganismenzahl sein. Durch das Umrühren wurde eine bessere Sauerstoffzufuhr in dem Gemisch gewährleistet, was die Vermehrung der aeroben Mikroorganismen, insbesondere der *Pseudomonas*, förderte. Die *Pseudomonas* können sich auch unter anaeroben Verhältnissen vermehren, wenn Nitrat als Nährstoffquelle zur Verfügung steht (SNEATH et al., 1986). Sie werden aber durch das tägliche Umrühren des Kompost-Wasser-Gemisches und demzufolge durch die Sauerstoffzufuhr bezüglich ihrer Vermehrung begünstigt (BRINTON und TRÄNKER, 1994; SNEATH et al., 1986). Die *Streptomyces* hingegen leben meist unter aeroben Bedingungen. Sie können aber auch unter O<sub>2</sub>-Mangel überleben, wenn die CO<sub>2</sub>-Konzentration 10 % nicht überschreitet (ALBRECHT et. al., 1998). In dieser Hinsicht wirkt das tägliche Umrühren günstig auf die Entwicklung und Vermehrung der *Streptomyces* und *Pseudomonas* in den Kompostextrakten. BRINTON und TRÄNKER (1994) berichteten ebenfalls von einem positiven Einfluss des Umrührens auf die Wirksamkeit der Extrakte gegen Pathogene, wobei dieses aber nicht zu stark sein sollte. Im Gegensatz dazu erzielten CRONIN et al. (1996) eine bessere Wirkung gegen *Venturia inaequalis*, wenn das Kompost-Wasser-Gemisch nur anfänglich umgerührt wurde.

### 5.3 Ausgangsmaterial

Über das Ausgangsmaterial der Komposte wurde mehrfach berichtet, dass es einen wichtigen Einfluss auf die Wirksamkeit der Extrakte gegen die Pathogene hat (BUDDE und WELTZIEN, 1988). Kompostextrakte, deren Kompost aus kompostierten tierischen Komponenten hergestellt wurde, wirkten bisher effektiver als Extrakte, deren Komposte aus pflanzlichen Komponenten hergestellt wurden (DITTMER et al. 1990). In den vorliegenden



Versuchen erzielten die Extrakte aus Lome und Tsevie, deren kompostiertes Material pflanzliche und tierische (Geflügelmist-Anteil) Bestandteile enthielt, ebenso eine Wirksamkeit gegen *A. solani* an abgetrennten Tomatenblättern wie die Extrakte, deren Komposte teils aus organischem Hausmüll und teils aus pflanzlichem Material hergestellt worden waren. Letztere zeigten ein starkes Wirkungspotenzial und erzielten eine Befallsminderung um 94 % an der Tomate gegen *A. solani* und eine um 85 % an abgetrennten Maniokblättern gegen *C. gloeosporioides*. Weiterhin schlug sich der Einfluss der Herkunft und dementsprechend die Zusammensetzung der Mikroflora der wässrigen Extrakte in den unterschiedlichen Messergebnissen zur Enzymaktivität und in Plattentests mit zellfreien Filtraten nieder. Bei der Messung der  $\beta$ -1,3-Glucanase wurde an den Tomatenblättern nach der Behandlung mit dem Extrakt aus Diocoul eine erhöhte Enzymaktivität beobachtet, während die Extrakte aus Conakry und Lome keine Auslösung der induzierten Proteine hervorriefen, was auf unterschiedliche Mikroorganismenpopulationen oder Stoffwechselprodukte der Extrakte hinweist. Im Plattentest wurde das Pathogen *A. solani* in vitro durch den sterilen Extrakt aus Conakry und *T. madina* gehemmt, während der Extrakt aus Diocoul keine Hemmzone bewirkte, was auf die Bildung von fungistatischen Substanzen in den Extrakten aus Conakry und *T. madina* hinweist, und damit auch auf eine unterschiedliche Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulationen und darüber hinaus der Extrakte.

Bei Untersuchungen bezüglich des Alters der Komposte ergab sich, dass eine lange Lagerung negativ auf die Anzahl der Mikroorganismen und die Wirksamkeit der Extrakte wirkt. Frische Komposte mit einem Alter von ca. zwei bis fünf Monaten wiesen eine höhere Gesamtkeimzahl sowie einen besseren suppressiven Effekt im Pathosystem *A. solani* – Tomate (84 % Befallsreduzierung) auf als jene, die für eine längere Zeit, d.h. ca. 14–17 Monate, gelagert wurden (68 % Befallsreduzierung). Versuche an abgetrennten Maniokblättern hinsichtlich des Kompostalters stimmten mit den Ergebnissen an der Tomate überein. Extrakte, die aus frischem Kompost mit einem Monat Lagerungszeit hergestellt wurden, reduzierten den Befall um 17 % stärker als der Extrakt, der aus 12 Monate gelagertem Kompost hergestellt worden war. Die Ergebnisse bestätigen die durchgeführten Untersuchungen von WINTERSCHEID et al. (1990), die den Falschen Gurkenmehltau durch Behandlungen mit Extrakten aus sechs Monate altem Kompost reduzieren konnten, während Spritzbehandlungen mit Extrakten, deren Komposte 26 Monate alt waren, keine suppressiven Effekte aufwiesen. Betrachtet man die großen Unterschiede beim Kompostalter in den oben genannten Versuchen, ist das optimale Alter der Komposte hinsichtlich deren Wirksamkeit schwierig zu definieren. Einerseits geht die

Mikroorganismendichte mit zunehmendem Alter zurück, das antagonistische Potenzial und die Nährstoffe lassen nach, andererseits werden durch die vorhandene mikrobielle Aktivität in den Komposten mit zunehmendem Alter neue Stoffwechselprodukte freigesetzt, die möglicherweise eine erhebliche Rolle bei der Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten spielen.

Mit der Messung des pH-Wertes der Extrakte sollten Rückschlüsse über die Koloniedichte und die Aktivität der einzelnen Mikroorganismengruppen gewonnen werden, da sich Bakteriengattungen in einem bestimmten pH-Bereich am effektivsten vermehren (SNEATH et al., 1986). Der pH-Wert der getesteten Extrakte schwankte in dem alkalischen Bereich von 7,7 – 8,7. An abgetrennten Tomatenblättern haben Extrakte sowohl bei pH-Werten über 8,4 eine signifikante Reduzierung des Befalls erzielt als auch in dem Bereich von 7,7 – 8,2. Die Extrakte aus Diocoul zeigten die niedrigsten pH-Werte. Bei den Versuchen an abgetrennten Tomatenblättern erzielte der Extrakt aus Diocoul die stärkste Befallsreduzierung von *A. solani* und die zweithöchste Koloniedichte, was möglicherweise auch auf den pH-Wert des Extraktes zurückzuführen ist.

Der pH-Wert spielt eine Rolle bei der Bildung von fungistatischen Substanzen. URBAN und TRÄNKER (1993) berichten von seinem Einfluss auf die Wirksamkeit getesteter Extrakte. Extrakte mit einem pH-Wert von über 6 erzielten eine höhere Unterdrückung des Befalls von *Botrytis cinerea* an *Phaseolus vulgaris* als Extrakte, deren pH-Wert darunter lag. Die Erklärung beruht auf der Wirkung des pH-Wertes auf die einzelnen Mikroorganismenpopulationen. *Pseudomonas* und *Bacillus* wirken in einem pH-Bereich von über 6 besser gegen Pathogene, insbesondere bei einem pH-Wert von 7,5 (DUIJFF et al., 1995). In den vorliegenden Versuchen wichen die pH-Werte in den Extrakten von denen bei DUIJFF et al. (1995) ab, was aber möglicherweise noch günstiger für die Entwicklung der einzelnen Mikroorganismenpopulationen ist. Hier sind weitere Untersuchungen erforderlich, die die Wirksamkeit der Extrakte bei einem künstlich gesenkten pH-Wert, im Bereich von 6 – 7,5, testen.

## 5.4 Wirkmechanismen

### 5.4.1 Antagonismus

Zur Aufklärung der Wirkmechanismen wurden die am häufigsten in den Extrakten enthaltenen Mikroorganismen isoliert und identifiziert. Bei der Identifizierung der Mikroorganismen in den Kompostextrakten wurde ausschließlich mit selektiven Nährmedien für die *Pseudomonas*, *Bacillus* und *Streptomyces* gearbeitet. Nach der Isolation und

Identifikation der am häufigsten aufgetretenen Mikroorganismen dominierte überwiegend die Bakteriengruppe *Pseudomonas*, gefolgt von *Bacillus*. Bei den Untersuchungen hinsichtlich der Identifikation von *Streptomyces*-Bakterien konnten keine Arten identifiziert werden, trotz der hohen gezählten Anzahl von Mikroorganismen auf selektiven Nährmedien für *Streptomyces*, was an der Methodik der Vorbereitung der Proben lag.

Nach der Isolation der Bakterien wurde deren antagonistisches Potenzial in Dual Culture Tests untersucht. Das Wachstum der Pilze *A. solani* und *C. gloeosporioides* wurde durch die mikrobiellen Antagonisten bis um 30 mm in vitro gehemmt, was auf die Bildung von fungistatischen Substanzen hinweist. Die Prüfung von 37 mikrobiellen Isolaten aus drei Kompostextrakten zeigte bei 17 Isolaten (46 %) antagonistische Aktivität gegen *A. solani* oder *C. gloeosporioides*. Davon riefen drei Isolate (8 %) nur gegen *A. solani* eine Hemmzone hervor, sechs (16 %) nur gegen *C. gloeosporioides* und acht (22 %) gegen beide Pathogene. In den vorliegenden Dual Culture Tests verursachten die identifizierten *Pseudomonas* Arten keine oder eine geringe Hemmzone, mit Ausnahme des Bakteriums *P. aeruginosa* gegen *C. gloeosporioides*. Die Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den Ergebnissen mehrerer Autoren, die von einem hohen antagonistischen Potenzial der *Pseudomonas*-Arten gegen phytopathogene Pilze berichten (Liu und WU, 1997). *Pseudomonas fluorescens* und *Pseudomonas putida* unterdrückten das Wachstum des Pathogens *Sclerotinia sclerotiorum* an *Helianthus annuus* L. (EXPERT und DIGAT, 1995). Das Bakterium *Pseudomonas aeruginosa*, isoliert aus Reispflanzen und aus Bodenproben, wirkte hemmend gegen verschiedene Mykosen an Reis (ROSALES et al., 1995). *Pseudomonas stutzeri* konnte die Auskeimung der Chlamydosporen von *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* unterdrücken (TOYOTA und KIMURA, 1993). Die Literatur spricht *Pseudomonas alcaligenes* und *P. pseudoalcaligenes* ein antagonistisches Potenzial und die Förderung von Wurzelwachstum zu (EGAMBERDIYEVA et al., 2001; GOMEZ, 2001; MONDAL et al., 2000). Die antagonistische Wirkung der *Pseudomonas*-Bakterien beruht auf der Bildung von eisenchelierenden Verbindungen (Siderophoren), Blausäure und verschiedenen Antibiotika (DUBE, 2001). Die Siderophoren verursachen einen Eisenmangel für die Pilze, die zur Auskeimung Eisen brauchen (ELAD und BAKER, 1985), oder wirken toxisch aufgrund der hohen Konzentration an Eisen (AHL et al., 1986), und verhindern damit das Wachstum des Pathogens (LOPER und BUYER, 1991; SULLIVAN und GARA, 1992). Möglicherweise liegt die nicht vorhandene antagonistische Wirkung der *Pseudomonas* in den vorliegenden Versuchen an dem Nährmedium PDA – wie es auch im Plattentest von *P. aeruginosa* gegen *C. gloeosporioides* der Fall war, wo die Hemmzone viel größer auf Nutrient Agar war als auf PDA –, weil dies nicht immer die Bildung von fungistatischen

Substanzen fördert (KRAUSS und BUSTAMENTE, 1999; WALKER et al., 1998). Ein weiterer möglicher Grund könnte darin liegen, dass die gebildeten fungistatischen Substanzen der Bakterien nicht gegen die Pathogene *A. solani* und *C. gloeosporioides* wirksam waren. Eine geringe Anzahl isolierter Bakterien aus Kompostextrakten, die in Plattentests eine fungistatische Wirkung zeigten, erwähnen auch JONGEBLOED et al. (1993). Sie testeten in vitro isolierte Mikroorganismen aus Extrakten und fanden lediglich elf Bakterien, die die Sporulation von *Phytophthora infestans* verhinderten. Im Gegensatz zu den *Pseudomonas*-Bakterien wirkten die identifizierten *Bacillus*-Arten hemmend gegen *A. solani* und *C. gloeosporioides* und bestätigten die Ergebnisse früherer Untersuchungen. *Bacillus pumilus* erreichte eine stärkere Hemmung des Pathogens *Penicillium digitatum* an Zitrusfrüchten als das Fungizid Benomyl (HUANG et al., 1992). Der Antagonist *B. licheniformis* erzielte eine Hemmzone von 25 mm gegen *A. solani* und eine von 7 mm bis 10 mm gegen *C. gloeosporioides*. Er verursachte in vitro eine Deformation der Hyphen von *A. solani* und bestätigte damit die Ergebnisse von SHIGEMITSU et al. (1984), die den Antagonisten bei mehreren Pilzen testeten und eine Deformation bei den Ascomyceten, Basidiomyceten und Deuteromyceten beobachteten, während die Oomyceten insensitiv waren. In-vitro-Versuche mit sterilen und autoklavierten Extrakten sollten Aufschluss über die Bildung von fungistatischen Substanzen in den Extrakten geben. Die Untersuchungen ergaben unterschiedliche Ergebnisse. Dies lag möglicherweise an den uneinheitlichen Extraktionsbedingungen bei der Herstellung der Extrakte oder an der Herkunft derselben. Beim ersten Versuch riefen die sterilen Extrakte aus Conakry und T. madina eine Hemmzone von 10 mm bis 13 mm gegen *A. solani* hervor, der aus Diocoul hingegen überhaupt keine. Im Rahmen des vorliegenden Versuches wurde eine Extraktionszeit von acht Tagen ausgewählt. In deren Verlauf hatte der Extrakt aus Conakry in Voruntersuchungen eine sehr hohe Koloniedichte gezeigt, und darüber hinaus vermutlich auch eine stärkere Bildung von Antibiotika, während der Extrakt aus Diocoul seine höchste Mikroorganismenanzahl in Voruntersuchungen nach 3 Tagen aufwies, aus diesem Grund vermutlich keine hohe Koloniedichte und demzufolge auch keine antifungischen Substanzen bei einer Extraktionszeit von 8 Tagen ausgebildet hatte. Im zweiten Versuch riefen autoklavierte und sterile Extrakte aus Lome und Diocoul in Plattentests auf PDA-Nährmedium keine hemmende Wirkung hervor, hingegen förderten sie das Wachstum der Pathogene in vitro. Dies beruht wahrscheinlich auf den in den Extrakten enthaltenen Nährstoffen, die das Wachstum der Pathogene in Dual Culture Tests mit sterilen Extrakten unterstützten, die aber in der Phyllosphäre nach der Applikation der Extrakte zur Vermehrung, Viabilität und Bildung von fungistatischen Substanzen der Antagonisten beitragen können (KETTERER, 1990). Die Nährstoffe auf der Blattoberfläche, die aus dem

Innenblatt ausgeschieden werden, sind ein limitierender Faktor. Der Nährstoffgehalt ist vom Blattalter sowie dem physiologischen und gesundheitlichen Status des Blattes abhängig (FIALA et al., 1990; TUKEY, 1970). DIK et al. (1992) untersuchten den Einfluss der Anreicherung der Phyllosphäre mit exogenen Nährstoffen. Sie konnten dadurch die natürliche Mikroorganismendichte und das antagonistische Potenzial steigern.

Weiterhin wurden Phyllosphärenuntersuchungen nach der Applikation der Extrakte durchgeführt, um die Entwicklung der Mikroorganismen zu bestimmten Zeitpunkten zu erfassen. Die Untersuchungen wurden in einem Zeitraum von fünf Tagen durchgeführt. Hierbei wurde mit selektiven Nährmedien für *Pseudomonas* gearbeitet. Die Phyllosphärenuntersuchungen zeigten eine Erhöhung der Mikroorganismenflora an der Tomate und an der Batate (siehe Anhang 9a-k). Die Koloniedichte wurde fünf Tage nach der Applikation der Extrakte um das 10fache in der Phyllosphäre der Batate und um das 30fache in der der Tomate im Vergleich zur Kontrollvariante erhöht. Darüber hinaus zeigte die Phyllosphäre eine dichte Besiedlung mit Antagonisten in einem Zeitraum von fünf Tagen. Dies bedeutet, dass das antagonistische Potenzial und die Bildung von fungistatischen Substanzen nach wiederholten Extraktapplikationen gefördert werden kann, da die toxischen Metabolite, produziert von den Mikroorganismen, die für die Pathogenunterdrückung auch verantwortlich sind, nicht so stabil in der Phyllosphäre sind. Sie können folglich unter ungünstigen Umweltbedingungen abgebaut, unwirksam oder auch abgewaschen werden (FOKKEMA, 1993). Die Bedeutung der natürlichen Mikroflora von Mikroorganismenarten und ihrer Populationsdichte auf der Blattoberfläche wurde bereits mehrfach untersucht (KORSTEN et al., 1995). MONA und RAGAB (1994) isolierten die natürliche Mikroflora aus Maisblättern und konnten sowohl in vitro als auch ad planta das Pathogen *Ustilago maydis* unterdrücken. FOKKEMA et al. (1975) zeigten, dass eine Erhöhung der Mikroflora auf der Blattoberfläche des Roggens die Entwicklung des Erregers *Cochliobolus sativus* verhindern kann. Selbst wenn die Wirkung nicht durch Antibiose hervorgerufen wird, scheint die Populationsdichte der Mikroorganismen von großer Bedeutung zu sein. Eine erhöhte Anzahl in der Phyllosphäre reduzierte den Befall von Reis durch *Cochliobolus miyabeanus*, ohne dass eine direkte Wirkung auf das Pathogen zu beobachten war (AKAI und KURAMOTO 1968).

Trotz des vorhandenen Antagonismus stellt sich die Frage, ob die Mikroorganismen in der Phyllosphäre anpassungsfähig sind und, wenn ja, wie lange. Die Bakteriengruppen *Bacillus* und *Pseudomonas* wurden sehr oft in der Phyllosphäre gefunden, was auf eine hohe Anpassungsfähigkeit dieser Bakteriengruppen zurückzuführen ist (BOPAIH et al., 1978). Die

meisten Bakterien sind in der Lage, relativ schnell auf unterschiedliche Temperaturen ihrer Umgebung zu reagieren und sich physiologisch und sogar morphologisch auf die neue Situation einzustellen. Ausschlaggebend für ihre enorme Anpassungs- und Wandlungsfähigkeit ist dabei, wie lange ein oder mehrere Parameter gegeben sind. Ist die Temperaturveränderung kurzfristig, d.h. von wenigen Stunden Dauer, kann die Zelle die Anzahl ihrer Enzyme um ein Mehrfaches steigern; ist sie hingegen langfristig (mehrere Wochen oder Monate), so wird ein entsprechendes genetisch fixiertes "Überlebensprogramm" aktiviert, das den "Umbau" der gesamten Zelle zur Folge haben kann (SELLNER, 1997). Temperaturmessungen während der Extraktionszeit wurden nicht vorgenommen. Die Kompost-Wasser-Gemische lagen bei einer Zimmertemperatur von 20–25°C und wurden an Pflanzen ausgebracht, die sich in einem 22-25°C warmen Raum befanden. Demzufolge konnten sich die Bakterien in der Phyllosphäre schnell anpassen und benötigten nur wenig Zeit zur Entfaltung ihrer vollen Aktivität. LINDOW (1992) und THOMSON (1986) berichteten, dass die epiphytischen Spezies Mechanismen entwickelt haben, die sie vor Umweltstress schützen. Hierbei handelt es sich um eine äußere Schicht von extrazellulären Polysacchariden, in der die Bakterien das Mikroklima physisch und chemisch so modifizieren, dass sie Stressfaktoren überleben und sich weiter vermehren (WILSON und LINDOW, 1994). So weist das Bakterium *Pseudomonas aeruginosa* Toleranz gegen Trockenheit auf, die in Verbindung mit Polysacchariden gebracht wird (ROBERSON und FIRESTONE, 1992). Dagegen sind Bakterienpopulationen weniger anpassungsfähig an tägliche Veränderungen der Luftfeuchtigkeit als Pilze und Hefen. Bei hoher Luftfeuchtigkeit können sie erfolgreich sowohl nekrotrophe als auch obligat biotrophe Erreger kontrollieren (FOKKEMA, 1988). Bei ad planta Versuchen mit Bakteriensuspensionen (*Bacillus licheniformis*, Tsevie13, Conakry13) konnten die Bakterienpopulationen, die des öfteren als Bodenbewohner bezeichnet werden (SNEATH et al., 1986), unter kontrollierten Bedingungen ihre hohe Anpassungsfähigkeit in der Phyllospäre beweisen. Sie erzielten eine Unterdrückung des Befalls von *A. solani* an der Tomate. Dadurch wurde die befallene Blattoberfläche bei einer Suspensiondichte von  $2 \times 10^8$  Sporen/ml um 40 % bis 50 % im Vergleich zur Kontrollvariante reduziert.

In den durchgeführten Versuchen war die Bekämpfung der Krankheitserreger auf die antagonistische Wirkung der mikrobiellen Gegenspieler zurückzuführen (siehe Anhang 5a-b). Die Form des Antagonismus ist trotz der in-vitro-Versuche mit den einzelnen Bakterien nicht immer eindeutig zu definieren. In Dual Culture Tests wurde das Wachstum der Pathogene in vitro gehemmt, was auf die Bildung von antimikrobiellen Substanzen zurückgeht. Trotzdem lassen sich Konkurrenz, Antibiose und Parasitismus nicht immer klar

voneinander abgrenzen. Dies gilt insbesondere für die Phyllosphäre, wo die experimentelle Untersuchung und damit auch die Interpretation der Versuchsergebnisse erschwert wird. Die Formen des Antagonismus können gemeinsam, aber auch abwechselnd auftreten. Es wird angenommen, dass Parasitismus und Antibiose gemeinsam wirken, da viele Hyperparasiten nur in ihre Wirte eindringen können, wenn sie über zellwandauflösende Enzyme verfügen (KOCH, 1996). Konkurrenz um Lebensraum und Antibiose spielen beide zusammen bei der biologischen Bekämpfung des Erregers des Wurzelkropfes (*Agrobacterium tumefaciens*) mit *Agrobacterium radiobacter* eine Rolle (COOKSEY und MOORE, 1982).

Nach FOKKEMA (1993) müssen die drei wichtigsten Stadien des biologischen Zyklus eines Pathogens unterdrückt werden: die Infektion, die Sporulation und das Überleben des Pathogens. Eine erfolgreiche Bekämpfung der Krankheit vor der Infektion findet statt, wenn die Antagonisten vor dem Pathogen präsent sind und dessen Penetration verhindern. Die Zeit vom Antreffen einer Spore auf der Blattoberfläche bis zur Penetration beträgt unter günstigen Bedingungen weniger als 12 Stunden (FOKKEMA, 1993). Sobald der Erreger penetriert hat, kann er nicht von den Antagonisten unterdrückt werden. Überdauerungsformen der Pilze, wie Sklerotien, werden von den Antagonisten meistens im Boden unterdrückt. Der Hyperparasit *Coniothyrium minitans* parasitiert Sklerotien von Pilzen der Gattung *Sclerotinia*. Die Parasitierung ist auf das Ausscheiden von Chitinase und  $\beta$ -1,3-Glucanase des Antagonisten zurückzuführen (TU, 1984).

## **5.4.2 Abwehrmechanismen der Pflanze**

### **5.4.2.1 Induzierte Resistenz**

Untersuchungen hinsichtlich der Auslösung verschiedener Mechanismen, die die Widerstandsfähigkeit der Pflanze erhöhen, ergaben keine eindeutigen Ergebnisse. Die Studien wurden durchgeführt, ohne die Pflanzen nach der Applikation künstlich zu inokulieren. Die Kompostextrakte sollten die Enzymaktivität an den Pflanzen induzieren und die Konzentration der Isoformen der Pathogenese-related Proteine erhöhen, die fungistatisch wirken. Bei Versuchen bezüglich der Steigerung der Enzymaktivität konnte innerhalb von sechs Tagen an Tomaten- und Batatepflanzen keine Chitinase-Aktivität nachgewiesen werden. Die Aufbereitung der Batateproben bei 25°C wurde auf der Basis der Methode von HOU et al. (1998) und die bei 37°C nach WIRTH und WOLF (1990) vorgenommen. Bei der Aufbereitung der Proben bei 25°C wurde die höchste Chitinase-

Aktivität an Batateblättern nach Insektenbefall ermittelt. Im vorgestellten Versuch wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen der Durchführung bei 25°C und bei 37°C festgestellt, was möglicherweise auf die verschiedenen Batatesorten zurückzuführen ist. Zur Ermittlung der erforderlichen Aktivierungsdauer und der höchsten Konzentration des induzierten Proteins  $\beta$ -1,3-Glucanase wurde die Enzymaktivität innerhalb von sechs Tagen untersucht. Die  $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität stieg bei Tomate und Batate vier Tage nach der Applikation der Extrakte. Die Untersuchungen wurden vorgenommen, da Auslöser der Aktivität enthaltene Stoffe oder Mikroorganismen aus den Extrakten sein könnten, die als Resistenzinduktoren bei Pflanzen dienen, wie es bereits bei Gurke, Weizen und Reben nachgewiesen wurde (SCHÖNBECK et al., 1980). Einige Bakterien, die aus den Kompostextrakten isoliert und identifiziert wurden, sind schon als Resistenzinduktoren bekannt, wie *Pseudomonas aeruginosa* und *Bacillus licheniformis*. Die chemischen Signale aus den Mikroorganismen, die für die Auslösung von Abwehrmechanismen in der Pflanze verantwortlich sind, stehen eventuell in Zusammenhang mit der Dichte der Mikroorganismen auf der Blattoberfläche, die in den durchgeführten Versuchen vermutlich nicht ausreichend war. Untersuchungen mit einzelnen Mikroorganismen und unterschiedlichen Suspensionsdichten könnten Aufschluss über die Aktivierung von Abwehrmechanismen in der Pflanze durch Mikroorganismen geben.

Unter Berücksichtigung der Vielfalt der Mikroorganismen in den Extrakten wurden diese auf die Proteine Chitinase und  $\beta$ -1,3-Glucanase untersucht, wobei jedoch keine Aktivität nachgewiesen werden konnte. In den Extrakten könnte Enzymaktivität vorhanden sein, die von verschiedenen Mikroorganismen gebildet wurde (ZHANG et al., 2001), welche auch bei der Bekämpfung von pilzlichen Erregern eine wichtige Rolle spielen (TOYOTA et al., 1994). Die Anzahl der Mikroorganismen, die Exochitinasen und  $\beta$ -1,3-Glucanase bilden, ist nach neueren Untersuchungen wesentlich höher als ursprünglich angenommen. EL-TARABILY et al. (2000) fanden nach Isolation von Bodenproben aus einem Salatfeld 23 Bakterien, 38 *Streptomyces* und 35 nicht *Streptomyces*-Aktinomyceten, die starke Enzymaktivität (Exochitinasen) gebildet haben. Bei den identifizierten Bakterien aus den Extrakten ist bekannt, dass das Bakterium *Pseudomonas stutzeri* Exochitinasen bildet (ROBERTS und SELITRENNIKOFF, 1988).

LAWRENCE et al. (1996) stellten nach Inokulation von Tomatenpflanzen mit *A. solani* eine erhöhte Enzymaktivität an den Blättern fest. Bei den Chitinase-Untersuchungen wurden vier Isoformen entdeckt, wobei nur eine die Resistenzwirkung der Pflanze gegen den Erreger erhöhte, und zwei Isoformen von Glucanase, die aber erst in einer höheren Konzentration



gegenüber dem Pathogen wirksam waren. Obwohl Chitin und Glucan wichtige Strukturelemente der Zellwände vieler Pilze sind, liefert die Akkumulation von  $\beta$ -1,3-Glucanase oder Chitinase nicht immer einen wesentlichen Beitrag bei der Unterdrückung der Pathogene, da einige Pilze kein Chitin enthalten oder sich das Chitin nicht direkt an den äußeren Zellschichten befindet (BENHAMOU et al., 1993). Zusätzlich könnten  $\beta$ -1,3-Glucanase und Chitinase mit Phytoalexinen konkurrieren, wie es zum Beispiel bei *Pisum sativum* und dem Phytoalexin Pisatin der Fall ist (NASU et al., 1995). Weitere Untersuchungen hinsichtlich der Enzymaktivität nach Applikation der Extrakte und anschließender künstlicher Inokulation könnten Aufschluss über eine hemmende Wirkung der Proteine auf den Befall an der Tomate und an der Batate geben.

#### 5.4.4.2 Induktionszeit

In diesen Versuchen sollte geklärt werden, zu welchem Zeitpunkt die Aktivierung des Resistenzpotenzials der Blätter nach der Applikation der Extrakte erfolgt. Eine Induktionszeit innerhalb von drei Tagen löste beim Extrakt aus Diocoul keine Änderung im Pathosystem Tomate – *A. solani* aus. Der Befall wurde zu allen drei Terminen um 67 % im Vergleich zur Kontrollvariante reduziert. Offensichtlich enthielt der Extrakt aus Diocoul keine Resistenzinduktoren als Stoffe oder Mikroorganismen, die die Aktivierung von Abwehrmechanismen in der Pflanze ermöglichen, oder diese Mechanismen wurden schon nach 24 Stunden eingeleitet, so dass man keine Unterschiede in einem Zeitraum von drei Tagen feststellen konnte. Hingegen ergaben sich bei den Extrakten aus Lome und Tsevie signifikante Unterschiede zwischen Induktionszeiten von einem und zwei Tagen. Bei einer Induktionszeit von zwei Tagen wurde der Befall an abgetrennten Tomatenblättern um 93 % reduziert, während die Befallsreduktion bei einer Induktionszeit von 24 Stunden um 42 % im Vergleich zur Kontrollvariante betrug. Als Grund hierfür wird die Auslösung von Abwehrmechanismen in den abgetrennten Blättern oder eine bessere Etablierung der Mikroorganismen auf der Blattoberfläche zwei Tage nach der Spritzbehandlung angenommen. Mögliche Resistenzmechanismen, die im Laufe von zwei Tagen in den Blättern ausgelöst werden konnten, sind Lignin- und Papillenbildung, die das Eindringen der Pathogene verhindern, oder induzierte biochemische Barrieren, wie Phytoalexine, Chitinase und  $\beta$ -1,3-Glucanase, die antifungische Eigenschaften besitzen und bis zu zwei Wochen nach der Abtrennung der Blätter von der Pflanze aktiviert werden können (BAMA und BALASUBRAMANIAN, 1991). WELTZIEN et al. (1987) haben beobachtet, dass bei einer Inokulation der Pflanzen 48 Stunden nach der Applikation mit wässrigen Extrakten die sekundäre Hyphenbildung von *Erysiphe betae* signifikant verringert wurde, während bei

einer Inokulation nach 20 Stunden noch kein Einfluss festgestellt wurde. Die Induktion der Abwehrmechanismen der Pflanze beruht auf der Erkennung von Molekülen, die während der Interaktion zwischen Pflanze und Mikroorganismen oder Pflanze und Stoffwechselprodukt freigesetzt werden und auf drei Wegen abläuft: Die Elizitoren werden direkt von den Mikroorganismen oder Stoffwechselprodukten in die Pflanze übertragen, endogene Elizitoren aus der pflanzlichen Zellwand werden durch sekretierte Enzyme der Mikroorganismen freigesetzt oder unspezifische Elizitoren von den Mikroorganismen werden durch den Kontakt mit pflanzlichen Enzymen freigesetzt (BRUNOLD et al., 1996). Eine bessere Etablierung der Mikroorganismen auf der Blattoberfläche beruht darauf, dass die Änderung des Mikroklimas – primär Extrakt, sekundär Pflanzenteile – anfänglich eine hemmende Wirkung auf die Aktivitäten der Mikroorganismen auf der Blattoberfläche hat. Dies bedeutet, dass eine bestimmte Anpassungszeit notwendig ist, um wieder eine volle Entfaltung der Wirksamkeit der Mikroorganismen zu erreichen. Eine Induktionszeit von ein oder zwei Tagen würde eventuell die Wirksamkeit der Mikroorganismen stimulieren, vor allem wenn Temperaturunterschiede zwischen dem Extrakt und dem neuen Mikroklima (Phyllosphäre) herrschen. Die Temperaturdifferenz löst eine Ruhe- oder Verspätungsphase (Anpassungszeit) hinsichtlich der Aktivität der Mikroorganismen aus, die um so länger anhält, je größer die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Milieus ist (ALBER und SCHAFFNER, 1992; ZWIETERING et al., 1994; ZWIETERING et al., 1994). Die Auslösung induzierter Mechanismen in den Pflanzen hängen von dem Pathogen und der Zusammensetzung des Kompostextraktes ab. Aber lange Induktionszeiten in Bezug auf die Mikroorganismendichte in der Phyllosphäre verringern aufgrund der Reduzierung der Gesamtkeimzahl sicher das antagonistische Potenzial.

Die vorliegenden Befunde lassen keine klaren Aussagen darüber zu, ob der unterschiedliche Wirkungsgrad der Extrakte in Abhängigkeit von der Induktionszeit an ausgelösten Resistenzmechanismen in den Blättern lag oder an einer besseren Etablierung der Mikroorganismen auf der Blattoberfläche. Hier sind weitere Untersuchungen erforderlich.

## **5.5 Formulierungshilfsstoffe**

Bei den Untersuchungen zur Erhöhung der Wirksamkeit der Extrakte wurde das Ziel verfolgt, den Mikroorganismen ein optimales Mikroklima zu gewährleisten. Damit sollten diese vor Trockenheit und UV-Strahlung geschützt werden, vor allem bei suboptimalen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen, die in der Phyllosphäre im Freiland herrschen.

Zudem sollte das Reservoir an Nährstoffen erhöht werden, um die mikrobielle Aktivität in der Phyllosphäre über eine längere Zeit zu fördern. Dabei sollte es sich um Nährstoffe handeln, die den Landwirten in ihrer ökonomischen Situation in Westafrika zugänglich sind, wie beispielsweise Zucker und Neem.

Die Anreicherung der Extrakte im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen erfolgte überwiegend mit den Formulierungshilfsstoffen Xanthan, Alginat und Zellulose und basierte auf den Ergebnissen von TILCHER et al. (1994), die eine Steigerung der Wirksamkeit von Organismensuspensionen durch diese Stoffe gegen *Plasmopara viticola* erzielt haben. Die Anreicherung mit Xanthan (0,15 % bis 0,8 %) nach der Herstellung der Extrakte wirkte positiv gegen *A. solani*. Bei den Versuchen an der Tomate konnte die Variante Ke + X. die Befallshäufigkeit um 20 % – 23 % und die befallene Blattoberfläche um 15 % – 35 % im Vergleich zu dem Kompostextrakt ohne Formulierungshilfsstoffe reduzieren. Guzzo et al. (1993) zeigten, dass durch Xanthanapplikationen an Kaffeepflanzen Abwehrmechanismen induziert wurden, diese aber nicht definiert werden konnten. In dem vorliegenden durchgeführten Versuch wurde keine Befallsreduzierung bei der Variante Xanthan + Wasser erzielt, die auf induzierte Abwehrmechanismen zurückzuführen sein könnte. Im Pathosystem Maniok – *C. gloeosporioides* wirkte die Anreicherung von Xanthan effektiver gegen das Pathogen als die Extrakte ohne Zusatzstoffe. Hierbei konnte die Anzahl der gebildeten Acervuli vom Extrakt mit Xanthan um 46 % stärker reduziert werden als von der Extraktvariante ohne Formulierungshilfsstoffe. Die Anreicherung der Extrakte mit Alginat (0,2 %) steigerte die Wirksamkeit der Extrakte aus Lome gegen *A. solani*, zeigte aber beim Extrakt aus Tsevie gegen *A. solani* und *C. gloeosporioides* keine Erhöhung der Wirksamkeit, was vermutlich auf die Herkunft der Extrakte zurückgeht. Des Weiteren wurden Zucker, Hefe und Zellulose als Nährstoffquelle für die Bakterien auf der Blattoberfläche eingesetzt, um deren Teilungsrate zu stimulieren und den Energiebedarf der Zellen zu decken (JACHERTS und JACHERTS, 1964). Zellulose wurde, den Erkenntnissen von SACKENHEIM (1993) folgend, auch als Mittel eingesetzt, um die Hafteigenschaften zu verbessern. Bei Versuchen an der Tomate bewirkte die Zugabe von Zellulose keine signifikanten Befallsreduzierungen im Vergleich zu dem Extrakt ohne Formulierungshilfsstoffe, was möglicherweise auf das Pathosystem zurückzuführen ist. Hingegen steigerte die Zugabe von Zellulose die Wirksamkeit des Extraktes gegen *C. gloeosporioides*, und zwar um 29 % gegenüber dem Extrakt, der nicht angereichert wurde. Bei den vorliegenden Ergebnissen hat die Zugabe von Zucker (Zusammensetzung: Glukose und Fruktose) die Wirksamkeit der Extrakte nicht gesteigert, obwohl bei Untersuchungen hinsichtlich der Entwicklung der Mikroorganismenanzahl während der

Extraktionszeit die Zugabe von Glukose eine Steigerung der Koloniedichte in den Extrakten um das Dreifache bewirkte – im Vergleich zu Extrakten, die nicht angereichert wurden. Die Zugabe von Zucker würde vermutlich bessere Ergebnisse gegen obligat biotrophe Pathogene erzielen, die nicht auf exogene Nährstoffe angewiesen sind, um erfolgreich zu penetrieren (FOKKEMA, 1993). Die Anreicherung des Extraktes mit Hefe ergab keine Steigerung der Wirksamkeit, obwohl GROSS-SPANGENBERG (1992) eine Steigerung gegen *Venturia inaequalis* um 40 % im Vergleich zur Kontrollvariante erzielte. Extrakte, die mit einer Kombination aus den drei Formulierungshilfsstoffen Xanthan, Alginat und Zellulose (0,15 %) angereichert wurden, erzielten gegen *A. solani* keine Steigerung der Wirksamkeit, wirkten jedoch gegen *C. gloeosporioides* effektiver als die Extraktvariante ohne Formulierungshilfsstoffe. Sie erzielten aber eine schwächere Wirksamkeit im Vergleich zu dem Extrakt, der mit Xanthan angereichert wurde. Um zu ermitteln, ob sich die Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Konzentration des Formulierungshilfsstoffes verändert, wurden die Stoffe Xanthan und Zellulose in drei unterschiedlichen Konzentrationen getestet. Bei Xanthan und Zellulose ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bei den Konzentrationen 0,2 %, 0,5 % und 0,8 %. Die hohe Konzentration von 0,8 % Xanthan machte den Extrakt dickflüssig, so dass dessen Ausbringung an die Pflanzen erschwert war.

Die Anreicherung der Extrakte mit Neemöl sollte einerseits eine Steigerung der Wirksamkeit bewirken. Zum anderen galt es, die Verträglichkeit der Mischung mit den Extrakten zu prüfen, denn Neemextrakte sind in Afrika weit verbreitet und sollen eine gleichzeitige Bekämpfung von pilzlichen Erregern und Schädlingen erzielen. Das Ausbleiben einer Steigerung der Wirksamkeit nach der Zugabe von Neem beruht vermutlich auf der hemmenden Wirkung von Neem gegen Bakterien (EPPLER, 1994). Demzufolge wurde auch das antagonistische Potenzial in der Phyllosphäre gehemmt.

Der Einfluss der Formulierungshilfsstoffe auf die Mikroorganismendichte in der Phyllosphäre wurde an der Tomate und an der Batate untersucht. Durch die Anreicherung der wässrigen Extrakte mit den Stoffen sollte sich die Mikroorganismenanzahl auf der Blattfläche stabilisieren oder erhöhen und eine schnellere Etablierung ermöglichen. Nach Anreicherung der Extrakte mit Xanthan, Alginat und Zellulose konnte im Vergleich zur der Extraktvariante ohne Formulierungshilfsstoffe keine Steigerung der Koloniedichte der *Pseudomonas* in der Phyllosphäre der Batate und Tomate festgestellt werden, trotz der besseren Wirksamkeit der Extrakte mit Xanthan gegen *A. solani* und *C. gloeosporioides*. Untersuchungen zur Reisolation unter Freilandbedingungen mit ungünstigen

Umweltverhältnissen und selektiven Nährmedien für mehrere Mikroorganismengruppen werden Aufschluss darüber geben, inwiefern die Mikroorganismen durch die Zugabe von Zusatzstoffen gefördert werden.

## **5.6 Untersuchung zur Wirksamkeit an den Pathosystemen**

### **5.6.1 *Alternaria solani* – Tomate**

Der Befall mit *Alternaria solani* an der Tomate wurde in den im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Versuchen erheblich reduziert. Die prophylaktische Anwendung der Extrakte verhinderte die Entwicklung des Pathogens an der Tomate, wenn die Extrakte ein bis drei Tage vor der künstlichen Inokulation appliziert wurden. Die unteren Blattetagen wurden zuerst von dem Pilz befallen, dann dehnte sich der Befall in die oberen Blattpartien aus. Im Vergleich zur Kontrollvariante zeigten die mit wässrigen Extrakten behandelten Pflanzen eine schwächere Befallsstärke der einzelnen Blattfieder einer Blattetage sowie eine niedrigere Anzahl von befallenen Blattfiedern pro Blattetage. Die Extrakte erzielten eine Verminderung der Befallshäufigkeit um bis zu 66 % und eine um bis zu 86 % der befallenen Blattoberfläche im Vergleich zur Kontrollvariante. Die Befallsverminderung des Pathogens wurde vermutlich primär von den Mikroorganismen hervorgerufen, sekundär durch die Aktivierung von etwaigen Abwehrmechanismen der Pflanze wie Proteinbildung oder die Entwicklung struktureller und biochemischer Barrieren, die die Ausbreitung des Pilzes im Mesophyll verhindern (BRUNOLD et al., 1996). Die Konidien auf der Blattoberfläche wurden möglicherweise bei der Auskeimung und Penetration des Keimschlauches von fungistatischen Metaboliten der Mikroorganismen gehemmt (siehe Anhang 8a,c-f,h-m), so dass das Konidium nicht in die Kutikula eindringen konnte. Eine weitere Erklärung könnte sein, dass die vorhandenen Nährstoffe auf der Blattfläche von den Antagonisten genutzt wurden, so dass dem Konidium die zu Auskeimung notwendigen Stoffe nicht zur Verfügung standen (ROTEM, 1994).

Des Weiteren kann die Auslösung von Abwehrmechanismen in der Tomate eine wichtige Rolle bei der Befallsreduzierung spielen. Extraktapplikationen erhöhten die Enzymaktivität ( $\beta$ -1,3-Glucanase) vier Tage nach der Spritzbehandlung, konnten aber nicht in Zusammenhang mit dem Krankheitsbefall gebracht werden, da die Pflanzen nicht künstlich inokuliert wurden. Frühere Untersuchungen zeigten, dass bei Tomatenpflanzen Resistenzmechanismen durch Pathogene, apathogene pilzliche und bakterielle Erreger sowie Agenzien hervorgerufen werden konnten, die sich gegen ein breites Spektrum von Krankheitserregern richteten (FUCHS et al., 1997; Oka et al., 1999). Induktion von Chitinase

und  $\beta$ -1,3-Glucanase nach Applikation mit  $\beta$ -Aminobutyric-Säure verminderte den Befall von *Phytophthora infestans* an Tomatenpflanzen (COHEN et al., 1994). Applikationen mit Salicylic acid (SA) aktivierten systemische Resistenz und erreichten eine Befallsminderung von *A. solani* an der Tomate um bis zu 83 % im Vergleich zur Kontrollvariante (SPLETZER und ENYEDI, 1999).

Bezüglich der Dauer der Wirksamkeit der Extrakte wurde die Befallshäufigkeit an den unteren fünf Blattetagen von Tomatenpflanzen nach einer einmaligen Spritzbehandlung mit einem Extrakt innerhalb von 24 Tagen jeweils im Abstand von 8 Tagen ausgewertet. Bei der ersten Auswertung betrug die Befallshäufigkeit bei der Kontrollvariante 60 %, während die Extraktvariante eine von 28 % aufwies. Bei der zweiten Auswertung hatte sich der Befall an der Kontrolle um 12 % und an der Extraktvariante um 4 % erhöht. Die letzte Messung, 24 Tage nach der Applikation der Extrakte, ergab eine weitere Erhöhung der Befallshäufigkeit, nämlich um 24 % bei der Kontrollvariante und um 20 % bei den Pflanzen, die mit dem Extrakt behandelt wurden. Daraus ergibt sich, dass die Extrakte nach 17 Tagen noch eine starke Unterdrückung des Pathogens erzielen, die Wirkung aber anschließend deutlich nachlässt, was vermutlich auf die Reduzierung der Koloniedichte auf der Blattoberfläche zurückzuführen ist. Zu beachten ist, dass die Wirksamkeit im Freiland möglicherweise nicht so lange anhält, da die Witterungsbedingungen wechseln und die Möglichkeit besteht, dass die Pflanzen von neu angetroffenen Konidien befallen werden, was unter kontrollierten Bedingungen nicht der Fall ist.

Obwohl der Krankheitserreger in der Vergangenheit sehr intensiv untersucht wurde, gehen die Meinungen hinsichtlich des optimalen Beginns der Bekämpfung der Pflanzenkrankheit auseinander. Der Pilz zeigt die ersten Symptome erst nach dem Blütestadium mit chlorotischen Flecken an den Blättern (VLOUTOGLOU und KALOGERAKIS, 2000). Im jüngeren Stadium der Pflanzen sind chemische Bekämpfungsmaßnahmen nicht sinnvoll. Fungizidbehandlungen sollten erst nach dem Ansetzen der ersten Früchte beginnen (MADDEN et al., 1978). In Idaho wird der Erreger an der Kartoffel nach dem Erscheinen der ersten Läsionen auf dem unteren Drittel der Pflanze bekämpft (DOUGLAS und GROSKOPP, 1974). ABANG und ILOBA (2002) zeigten, dass präventive Fungizidapplikationen mit Benomyl schon früh in der Vegetationsperiode den Befall erfolgreich unterdrücken können, ohne dass aufwändige Spritzbehandlungen später, nach der Blühzeit, vorgenommen werden müssen. MONACO et al. (2001) berichteten von einer erheblichen Unterdrückung des Pathogens mittels Kombinationen aus biologischen Präparaten und chemischen Mitteln, so dass Extrakte im Wechsel mit Fungizidapplikationen eine Unterdrückung des Pilzes erzielen können. Dabei sollte aber der Einfluss von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf die

mikrobiellen Antagonisten geprüft werden, deren Potenzial durch die chemischen Pflanzenschutzmittel beeinträchtigt werden kann (GULLINO und GARIBALDI, 2001). Die Ausbreitung der Krankheit wird von unterschiedlichen Wetterverhältnissen begünstigt. In Bermuda wurde die Krankheit vom Regen gefördert, in Ungarn und Südafrika dagegen von trockenem Wetter (MADDEN et al., 1978). BASU (1974) erstellte eine Korrelation zwischen der Befallshäufigkeit der Blätter und der Anzahl der infizierten Früchte. Danach werden bei einem Blattbefall von 60 % durchschnittlich etwa 10 % der Früchte infiziert.

### 5.6.2 *Colletotrichum gloeosporioides* – Maniok

Die Extrakte reduzierten signifikant den Befall von *C. gloeosporioides* an abgetrennten Maniokblättern. Auf den behandelten Maniokblättern wurde eine geringere Anzahl von Acervuli im Vergleich zur Kontrollvariante ermittelt, und der Befall wurde bis um 87 % reduziert. Möglicherweise wurde die Auskeimung der Sporen durch die Mikroorganismen verhindert, und zwar direkt durch die Bildung von fungistatischen Substanzen, die eine Hyphendeformation hervorrufen können – wie bei in-vitro-Versuchen bestätigt wurde –, und indirekt vermutlich durch induzierte Abwehrmechanismen der Blätter, die noch an abgetrennten Blättern bis zu zwei Wochen nach der Entnahme aus der Pflanze aktiviert werden können (BAMA und BALASUBRAMANIAN, 1991). Bei den durchgeführten Versuchen erwies sich, dass die Extraktionsbedingungen eine wichtige Stellung bei der Unterdrückung des Pathogens einnehmen. Bei den Extrakten aus Castor und Conakry ergab sich eine signifikante Befallsverminderung bei einer Extraktionszeit von 10 Tagen, während bei 5 und 15 Tagen keine signifikanten Unterschiede zur Kontrollvariante festgestellt wurden. Bei dem Extrakt aus Tsevie wurde der Befall am effektivsten nach einer Extraktionszeit von 5 Tagen reduziert. Die Wirkungsdifferenzen bei den verschiedenen Extraktionszeiten liegen wahrscheinlich an der unterschiedlichen Entwicklung der Koloniedichte in dem Kompost-Wasser-Gemisch während der Extraktionszeit, und darüber hinaus am höheren antagonistischen Potenzial auf der Blattfläche von Maniok. Das antagonistische Potenzial von *Pseudomonas*-Arten gegen Pathogene an Maniok wurde bereits erläutert. So wurde der Befall mit *Erwinia carotovora* var. *carotovora* von den Bakterien *P. putida* oder *P. fluorescens* um 95 % im Vergleich zur Kontrolle vermindert (HERNANDEZ et al., 1986). Mikrobielle Antagonisten, isoliert aus der Phyllosphäre, hemmten die Bildung von Appressoria von *C. gloeosporioides* (LENNE und PARBERY, 1976). KOOMEN und JEFFRIES (1993) zeigten, dass man *C. gloeosporioides* an Mangofrüchten mit dem Einsatz von Bakterien, insbesondere *P. fluorescens* und *Bacillus cereus*, während der Lagerung unterdrücken kann.

Die Untersuchung zur Wirksamkeit der Extrakte in Abhängigkeit von der Konzentration Kompost – Wasser ergab, dass der Extrakt, der bei einer Konzentration von 1:10 K/W überschichtet wurde, den Befall um 84 % im Vergleich zur Kontrolle reduzierte, bei einer von 1:15 K/W dagegen um 87 %, während Extrakte, die bei Konzentrationen von 1:2,5 und 1:5 K/W überschichtet wurden, eine Befallsverminderung um 60 % und um 68 % erzielten. Die höhere Wirksamkeit der schwach konzentrierten Extrakten steht vermutlich in Zusammenhang mit der Koloniedichte zur ausgewählten Extraktionszeit. Bei der im Versuch vorliegenden Extraktionszeit von acht Tagen verringerte sich die Mikroorganismendichte in den stark konzentrierten Extrakten, da weniger Lebensraum zur Verfügung stand. Vielleicht lag auch ein schnellerer Verbrauch der verfügbaren Nährstoffe in dem Kompost-Wasser-Gemisch vor, während in den anderen Extrakten mehr Lebensraum und eventuell mehr freigesetzte Stoffe für die Vermehrung und Aktivität der Mikroorganismen zur Verfügung standen. Eine tägliche Durchmischung des Kompost-Wasser-Gemisches während der Extraktionszeit erhöhte, wie im Pathosystem Tomate – *A. solani*, die Wirksamkeit der Extrakte. Diese Variante reduzierte den Befall um 36 % im Vergleich zur Kontrolle und 8 % im Vergleich zur der Variante, die zu Beginn umgerührt wurde. Die Koloniedichte der Extrakte in diesem Versuch wurde vor der Applikation der Extrakte nicht gezählt. Die stärkere Befallsreduzierung der Variante (täglich durchmischt) ist aber vermutlich auf eine höhere Mikroorganismenanzahl in dem Extrakt zurückzuführen, und darüber hinaus auf eine stärkere Wirksamkeit.

### 5.6.3 *Ipomoea batatas*

Untersuchungen an der Batate zeigten, dass sich die Koloniedichte der *Pseudomonas* in der Phyllosphäre nach der Spritzbehandlung mit dem Extrakt erhöht. Sie wies 5 Tage nach der Behandlung eine Steigerung der Bakterienanzahl um das 10fache im Vergleich zur Kontrollvariante auf. Durch Erhöhung der Mikroflora mittels Extraktapplikationen sollten die antagonistischen Eigenschaften auf der Blattfläche gesteigert und günstige Bedingungen für die Bekämpfung der Pathogene geschaffen werden. Behandelte Blätter mit dem Extrakt aus Lome wiesen die höchste Koloniedichte (4370 cfu/ cm<sup>2</sup> Blattfläche) sofort nach der Applikation auf, im Vergleich zu den Blättern, die mit den Extrakten aus Diocoul (3176 cfu/ cm<sup>2</sup> Blattfläche) und Conakry (2388 cfu/cm<sup>2</sup> Blattfläche) besprüht wurden. Trotz der großen Differenz (28 %) zwischen den Varianten Lome und Diocoul direkt nach der Applikation, wiesen die Blätter, die mit dem Extrakt aus Diocoul behandelt wurden, am fünften Tag 48 % mehr Mikroorganismen/cm<sup>2</sup> Blattfläche auf als die Blätter, die mit dem Extrakt aus Lome behandelt wurden. Vermutlich konnten sich die Mikroorganismen in dem Extrakt aus Diocoul auf der Blattfläche besser etablieren als jene aus Lome, wo eine Mortalitätsrate von



84 % im Laufe von fünf Tagen ermittelt wurde. Über die Bedeutung der Mikrofloradichte und -arten berichtet ATEF (2000), der die natürliche Mikroflora aus der Phyllosphäre der Batate isolierte und in Plattentests eine starke antagonistische Wirkung einzelner Bakterien gegen fünf Pathogene der Batate ermittelte.

Phytotoxizitätssymptome wurden an der Batate nach fünf Extraktapplikationen nicht festgestellt. Eine geringe Anzahl von Blättern mit Verfärbungen war bei allen Varianten zu beobachten, was wahrscheinlich auf abiotische Faktoren zurückzuführen ist. Durch die Behandlung der Batatepflanzen mit wässrigen Extrakten konnten keine Wachstumssteigerungen in Hinblick auf das oberirdische Pflanzenfrisch- und trockengewicht erzielt werden.

## 5.7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen und unter Freilandverhältnissen (SOMANA, 2001; SECK, 2001) zeigten eine recht gute Wirksamkeit der Extrakte gegen die Pathogene und ermutigen zu deren Anwendung und Einbindung in Pflanzenschutzstrategien. Die Extrakte erzielten in Laboruntersuchungen eine stärkere Reduzierung des Befalls von *A. solani* an der Tomate und *C. gloeosporioides* an abgetrennten Maniokblättern im Vergleich zu den Feldversuchen, bei denen die Wirksamkeit der Extrakte deutlich geringer als die der Fungizidbehandlungen war. Daher stellt sich die Frage, inwiefern die Extrakte auch unter Freilandbedingungen die Pflanzenkrankheiten erfolgreich unterdrücken können, damit keine erheblichen Ertragsausfälle vorkommen. Das Problem besteht darin, dass die schwankenden Wetterbedingungen die Wirksamkeit der Extrakte stark beeinträchtigen können. Pflanzenschutzmaßnahmen nur mit wässrigen Extrakten würden vermutlich nicht für die Bekämpfung von Pathogenen ausreichen, besonders in Westafrika während der Regenzeit, wo die Extrakte durch häufige Niederschläge ihre Wirksamkeit einbüßen würden. So können die Extrakte in erster Linie in Pflanzenschutzstrategien eingebunden werden, die in der Trockenperiode umgesetzt werden, um ein gutes Umfeld für die Mikroorganismen in der Phyllosphäre zu schaffen und eventuell Abwehrmechanismen der Pflanzen auszulösen.

Eine weitere Problematik der Anwendung von Extrakten liegt darin, dass das Ausgangssubstrat (Kompost) für die Herstellung der Extrakte nicht immer homogen, und so keine konstante Qualität gewährleistet ist. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass Extraktionsbedingungen von 3 – 10 Tagen Extraktionszeit, eine Konzentration von 1:4 bis 1:10 Kompost – Wasser und ein tägliches Durchmischen des Kompost-Wasser-Gemisches eine vielversprechende Alternative zur Bekämpfung von Blattkrankheiten darstellen. Im

Einzelfall werden dennoch bei der praktischen Freilandanwendung weiterhin vorausgehende Laboruntersuchungen erforderlich sein, um die optimalen Extraktionsbedingungen festzulegen. Darüber hinaus wird deren Einbindung in Pflanzenschutzstrategien, insbesondere in Westafrika, problematisch sein, wenn keine Zusammenarbeit mit den lokalen Institutionen vor Ort gewährleistet ist, vor allem weil die Bestimmung der Koloniedichte in Abhängigkeit von den Extraktionsbedingungen nicht von den Landwirten selbst vorgenommen werden kann. Weiterhin wirken Kompostextrakte im Unterschied zu chemischen Mitteln prophylaktisch und nicht therapeutisch, was ihre Anwendbarkeit zeitlich eingrenzt. Schwierigkeiten ergeben sich, wenn die Pflanzenkrankheiten schon frühzeitig in der Vegetationsperiode ausbrechen und nicht erfolgreich bekämpft werden können. Das Tempo der Wirkung ist langsam und die Effektivität geringer als bei den chemischen Substanzen, bei denen die Wirksamkeit bis zu 100 % betragen kann (ANDREWS, 1992) (Tab. 48). Zusätzlich muss erwähnt werden, dass die Extrakte aus gesundheitlichen Gründen vor dem Einsatz auf Humanpathogene geprüft werden müssen.

Tabelle 48: Vorteile und Nachteile der chemischen und biologischen Bekämpfung (ANDREWS, 1992)

	chemisch	biologisch
Wirkung	prophylaktisch, therapeutisch	prophylaktisch
Eintritt der Wirkung	schnell	langsam
Effektivität	98 – 100 %	variiert < 50 %
Anwendungsspektrum	breit	nicht breit
Auswirkung auf menschliche Gesundheit	gut erforscht	Mangel an Wissen

Trotz dieser problematischen Aspekte bei der Anwendung der Extrakte bieten Komposte und die daraus hergestellten wässrigen Extrakte eine alternative Methode zur Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten mit dem positiven Nebeneffekt der Reduzierung des Hausmülls in Westafrika. Die Vorteile der Anwendung von Kompostextrakten liegen in ihrer einfachen Herstellung und Applikation, ihrer breiten Anwendbarkeit aufgrund der Vielfältigkeit der in ihnen enthaltenen Mikroorganismen und ihrer relativ kostengünstigen Herstellung. Gerade der letzte Aspekt wiegt um so schwerer, wenn man bedenkt, dass beispielsweise Guinea zu den zehn ärmsten Ländern der Welt gehört, und für die einheimischen Landwirte häufig eine chemische Bekämpfung finanziell nicht erschwinglich ist (BAKER und HENIS, 1990).

Aus wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten ist die Anwendung von wässrigen Kompostextrakten in Westafrika als eine wirksame Strategie gegen Pflanzenkrankheiten

anzusehen. Damit sollen ökonomische, stabile und leistungsfähige phytosanitäre Verhältnisse für die kleinbäuerliche Landwirtschaft in Westafrika geschaffen werden. Weitere Untersuchungen zur Wirksamkeit von wässrigen Extrakten sind notwendig und sinnvoll, besonders im praktischen Anbau bei mehreren Kulturpflanzen, um eine Standardisierung und Optimierung der Extrakte zu erzielen.

## 6. Zusammenfassungen

### 6.1 Zusammenfassung

Die pilzlichen Erreger der Tomate *Alternaria solani* und des Manioks *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *manihoti* verursachen große Ertragsausfälle in Westafrika. In der vorliegenden Arbeit wurden die Blattkrankheiten nach Applikationen mit wässrigen Extrakten aus Westafrika (Ausgangsmaterial: organischer Haushaltsmüll) unter kontrollierten Bedingungen unterdrückt. Im Pathosystem Tomate – *A. solani* erzielten die Extrakte eine Befallsverminderung um bis zu 94 % im Vergleich zur Kontrollvariante und im Maniok – *C. gloeosporioides* wurde die Anzahl der gebildeten Acervuli/cm<sup>2</sup> Blattoberfläche bis um 87 % reduziert. Der primäre Wirkmechanismus der Extrakte gegen die Pathogene ist Antagonismus, hervorgerufen von den Mikroorganismen in den Extrakten. Isolierte Bakterien aus den Extrakten hemmten das Wachstum der Pathogene in Plattentests, was auf die Bildung von fungistatischen Substanzen zurückzuführen war. Die Bakterien, die aus den Extrakten isoliert und identifiziert wurden, gehörten überwiegend zu den Bakteriengattungen *Pseudomonas* und *Bacillus*.

Die Extraktionsbedingungen nahmen in Hinblick auf die Wirksamkeit der Extrakte gegen die Pathogene eine wichtige Stellung ein. Die Untersuchungen zeigten einen Zusammenhang zwischen gesteigerter Mikroorganismenanzahl und Befallsreduktion. Durch die Auswahl optimaler Extraktionsbedingungen erhöhte sich die Anzahl der Koloniedichte in den Extrakten; dies führte zur einer stärkeren Befallsreduzierung an der Tomate und am Maniok. Hierbei waren die Umgebungstemperatur und die Häufigkeit des Durchmischens des Kompost-Wasser-Gemisches von besonderer Bedeutung. Extrakte, die während der Extraktionszeit einer Temperatur von 20°C ausgesetzt waren, erzielten eine stärkere Befallsreduzierung von *A. solani* an der Tomate und wiesen eine höhere Mikroorganismendichte auf als Extrakte, die einer Temperatur von 30°C und 35°C ausgesetzt waren. Tägliches Durchmischen des Wasser-Kompost-Gemisches während der Extraktionszeit erhöhte die Mikroorganismendichte um das Siebenfache in den Extrakten und die Wirksamkeit gegen *A. solani* und *C. gloeosporioides* im Vergleich zu den Extrakten, die nur zu Beginn durchgemischt wurden. Die Lagerungszeit der fertigen Komposte hatte einen Einfluß auf die Mikroorganismendichte der wässrigen Extrakte sowie auf deren Wirksamkeit. Extrakte, die aus frischen Komposten hergestellt wurden, zeigten einen besseren suppressiven Effekt gegen die Pathogene und wiesen eine höhere Mikroorganismenanzahl auf als Extrakte, deren Komposte schon länger gelagert worden waren.

Die Anreicherung der Extrakte mit dem Formulierungshilfsstoff Xanthan steigerte die Wirksamkeit der Extrakte gegen *A. solani* an Tomatenpflanzen und gegen *C. gloeosporioides* f.sp. *manihotis* an abgetrennten Maniokblättern. Angereicherte Extrakte reduzierten den Befall um bis zu 46 % mehr als der Extrakt ohne Formulierungshilfsstoffe, während die Steigerung der Wirksamkeit nach Anreicherung mit Alginat oder Zellulose eine Abhängigkeit von der Herkunft der Komposte zeigte. Eine erhöhte  $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität wurde am vierten Tag nach der Applikation von Extrakten an der Tomate und an der Batate festgestellt.

Diese Ergebnisse belegen die Bedeutung von Spritzbehandlungen mit wässrigen Kompostextrakten gegen die Pathogene *A. solani* und *C. gloeosporioides* f.sp. *manihotis* und stellen eine erfolgsversprechende Alternative zur Bekämpfung von Pilzkrankheiten in Westafrika dar.

## 6.2 Abstract (engl.)

### **Investigations into the phytosanitary effectiveness and mode of action of watery extracts from composted organic waste from West Africa against fungal pathogens**

Great yield losses of cassava in West Africa are caused by fungal pathogens that also affect tomato, e.g. *Alternaria solani* and *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *manihotis*. In the present study these foliar diseases were effectively suppressed under controlled conditions after application of watery compost extracts to tomato and cassava. The disease incidence of *A. solani* on tomato was reduced up to 94 % and the number of the acervuli produced on the surface of cassava leaves was reduced up to 87% compared to the control treatment. Reduction is due to antagonistic effects of the microorganisms in the extracts towards the pathogens. Bacterial strains isolated from the extracts suppressed the growth of the pathogens in dual-culture-tests due to the production of antibiotics. Bacteria isolated and identified from the extracts were mostly *pseudomonas* and *bacillus* strains.

The conditions used for extraction of compost played a significant role for their effectiveness against different pathogens. The investigations showed that optimisation of extract conditions increased the density of microorganisms in the extracts and led to a higher disease reduction on tomato and cassava plants. Temperature and stirring frequency of the compost – water mixture during the extraction period were very important factors for increased effectiveness. Extracts incubated at 20 °C during the extraction period caused a higher disease reduction on tomato and showed a higher density of microorganisms, than extracts that were incubated at 30 or 35 °C. Daily stirring of the compost – water mixture during the extraction period increased the density of microorganisms in the extracts sevenfold and increased the effectiveness against *A. solani* and *C. gloeosporioides* compared to the extract that was stirred only once at the beginning. The Effectiveness as well as the density of the microorganisms were depended on the incubation time of the compost extracts. Extracts produced from fresh composts showed greater suppressive effects against pathogens and higher densities of microorganisms than extracts of composts that were stored for a longer time.

Enrichment of the extracts with the formulate substance xanthan increased the effectiveness against *A. solani* on tomato plants and against *C. gloeosporioides* on detached leaves of cassava and reduced the disease incidence up to 46% compared to the extract without formulate substances. The increase of the effectiveness after enriching with alginate was depended on the origin of the compost. An increased  $\beta$ -1,3- glucanase activity

were determined on tomato and sweet potato leaves 4 days after the application of the extracts onto the plants.

The results of this study show that watery compost extracts can be successfully applied against the cassava and tomato pathogens *A. solani* and *C. gloeosporioides* f. sp. *manihotis* and offers easily applicable methods for the reduction of fungal diseases in West Africa.

### 6.3 Résumé (franz.)

#### **Recherches sur l'efficacité et les mécanismes d'action des extraits aqueux des ordures organiques compostées provenant de l'Afrique de l'Ouest contre les pathogènes fongiques**

En Afrique de l'Ouest, les pathogènes fongiques de la tomate *Alternaria solani* et du Manioc *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *manihotis* sont à l'origine de grandes pertes des récoltes.

Dans les travaux présentés ici, les maladies des feuilles ont été supprimées en appliquant des extraits aqueux (matière de base : ordures ménagères organiques) en provenance de l'Afrique de l'Ouest. En appliquant ces extraits une diminution d'infestation jusqu'à 94 % en comparaison avec la variante de contrôle a été obtenue dans le pathosystème de la tomate *A. solani* (sur le tissu foliaire). Le nombre des Acervuli/cm<sup>2</sup> formés par rapport à la superficie de la feuille du Manioc *C. gloeosporioides* a été réduit de 87 %. L'effet primaire des extraits sur les pathogènes est l'antagonisme provoqué par les micro-organismes contenus dans les extraits. Dans les essais de plaques, les bactéries isolées des extraits ont réprimé la croissance des pathogènes en formant des substances fongistatiques. Les bactéries isolées et identifiées des extraits appartiennent en grande partie aux espèces *Pseudomonas* et *Bacillus*.

Les conditions d'extraction ont été de grande importance par rapport à l'efficacité des extraits contre le pathogène. Les études ont démontré un rapport entre le nombre croissant de micro-organismes et une réduction d'infestation croissante. La densité de colonies dans les extraits était fonction du choix des conditions d'extraction optimales. La réduction d'infestation était alors plus importante pour les tomates et le manioc. D'une importance particulière était la température ambiante ainsi que la fréquence de brassage du mélange eau-compost. Les extraits exposés à une température de 20° C pendant la période d'extraction ont démontré une densité plus élevée de micro-organismes par rapport aux extraits exposés à une température variant de 30 - 35° C. Un brassage quotidien du mélange eau-compost pendant la période d'extraction a multiplié par sept la densité de micro-organismes dans les extraits et l'efficacité contre *A. solani* et *C. gloeosporioides* par rapport aux extraits mélangés uniquement au début. La période de stockage du compost arrivé à maturité a influencé la densité de micro-organismes des extraits aqueux et leur efficacité. Les extraits obtenus d'un compost frais ont démontré une meilleure efficacité de suppression contre les pathogènes avec un taux plus élevé de micro-organismes que des extraits provenant d'un compost stocké.



L'efficacité des extraits contre *A. solani* des plantes de tomate et *C. gloeosporioides* f.sp. *manihotis* sur le tissu foliaire des plantes du manioc a été plus importante quand les extraits ont été enrichi par la substance additive Xanthan. La réduction de l'infestation des extraits enrichis pouvait atteindre jusqu'à 46 % par rapport à l'extrait sans substance additive. Par contre, une efficacité accrue après un apport d'Alginat ou de cellulose était fonction de l'origine du compost. Le quatrième jour après l'application des extraits sur la tomate et la patate douce une plus grande  $\beta$ -1,3-activité de glucanase a été constatée

Ces résultats démontrent l'importance des traitements par pulvérisation avec des extraits aqueux de compost contre les pathogènes *A. solani* et *C. gloeosporioides* f.sp. *manihotis*. Ils représentent une alternative prometteuse dans la lutte contre les maladies provoquées par les champignons en Afrique de l'Ouest.

## Literaturverzeichnis

- ABANG, M. und ILONA, C. (2002): Potential of seed treatment fungicides for the control of foliar diseases of tomato under late short growing season conditions of a tropical derived savanna. *J. of Agric. in the Tropics and Subtropics* 103, 29–38
- ABBAS, H.K. und JOHNSON, B.J. (1997): Effect of *Alternaria solani* / toxins on weeds and tomatoes. *Phytopathology* 87, 2
- ABBASI, P.A., AL-DAHMANI, J., SAHIN, F., HOITNIK, H.A.J. und MILLER, S.A. (2002): Effect of compost amendments on disease severity and yield of tomato in conventional and organic production systems. *Plant Disease* 86, 156–161
- AKAI, S. und KURAMOTO, T. (1968): Microorganisms existing on leaves of rice plants and the occurrence of brown leaf spot. *Ann. Phytopathol. Soc. Japan* 34, 313–316
- ALBER, S.A. und SCHAFFNER, D.W. (1992): Evaluation of data transformations used with the square root and schoolfield models for predicting, bacterial growth rate. *Appl. Environ. Microbiol.* 58, 3337–3342
- ALBRECHT, A., BOCHOW, H., DELLMANN, K., GABEL, H., HENTSCHEL, K.-D. und MÜLLER, W. (1998): Antagonistenpräparate und Naturkalkzusätze zur Unterdrückung des Erregers der Kohlernie (*Plasmodiophora brassicae*) in belasteten Komposten. *Gesunde Pflanzen* 50, 133–141
- ALVAREZ, M.B.A., GAGNE, S. und ANTOUN, H. (1995): Effect of compost on rhizosphere microflora of the tomato and the incidence of plant growth-promoting rhizobacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 61, 194–199
- AMUSA, N.A. (2000): Screening of cassava and yam cultivars for resistance to anthracnose using toxic metabolites of *Colletotrichum* species. *Mycopathologia* 150, 137–142
- ANDREWS, H.J. (1992): Biological control in the phyllosphere. *Annu. Rev. Phytopathol.* 30, 603–635
- ANONYMUS (1982): Rapport des essais insecticides 1980–1981. Centre pour le développement de l'horticulture, Camberene – Dakar, 1– - 99 -27
- ATEF, N.M. (2000): In vitro antagonistic action of egg plant and sweet potato phylloplane bacteria to some parasitic fungi. *Phytopathol. Mediterr.* 39, 366–375

- ATTITALLA, I.H., JOHNSON, P., BRISHAMMAR, S. und QUINTANILLA, P. (2001): Systemic resistance to *Fusarium* wilt tomato induced by *Phytophthora cryptogea*. J. Phytopathology 149, 373–380
- BABU, S., SEETHARAMAN, K., NANDAKUMAR, R. und JOHNSON, I. (2000): Efficacy of fungal antagonists against leaf blight of tomato caused by *Alternaria solani* (Ell. and Mart.). Journal of Biological Control 14, 79–81
- BABU, S., SEETHARAMAN, K., NANDAKUMAR, R. und JOHNSON, I. (2000): Fungitoxic properties of some plant extracts against *Alternaria solani*, the tomato leaf blight pathogen. Journal of Ecotoxicology & Environmental Monitoring 10, 157–159
- BAILEY, J.A. (1974): The relationship between symptom expression and phytoalexin concentration in hypocotyls of *Phaseolus vulgaris* infected with *Colletotrichum lindemuthianum*. Physiol. Plant Pathol. 4, 477–488
- BAKER, C.A. und HENIS, J.M.S. (1990): Commercial production and formulation of microbial biocontrol agents. New directions in biological control, New York: Liss, 334–344
- BAMA, M.S. und BALASUBRAMANIAN, R. (1991): Chitinases und glucanases in *Arachis hypogea* L. in detached leaves with *Puccinia arachidis* Speg. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 98, 305–316
- BASHI, E. und ROTEM, A. (1976): Induction of sporulation of *Alternaria porri* f. sp. *solani* in vivo. Physiol. Plant Pathol. 8, 83–90
- BASU, P.K. (1974): Measuring early blight, its progress and influence on fruit losses in nine tomato cultivars. Can. Plant. Dis. Surv. 54, 45–51
- BEDLAN, G. (1999): Gemüsekrankheiten. Österreichischer Agrarverlag, Klosterneuburg, 204
- BELLOTTI, A.C., SMITH, L. und LAPOINTE, S.L. (1999): Recent advances in cassava, pest management. Ann. Rev. Entomol. 44, 343–370
- BENHAMOU, N., BROGLIE, K. und CHET, I. (1993): Antifungal effect of bean endochitinase on *Rhizoctonia solani*: ultrastructural changes and cytochemical aspects of chitin breakdown. Can. J. Microbiol. 39, 318–328
- BEN-YEPHET, Y. und NELSON, E.B. (1999): Differential suppression of damping-off caused by *Pythium aphanidermatum*, *P. irregulare* and *P. myriotylum* in composts at different temperatures. Plant Disease 83, 356–360

- BERG, G., KURZE, S., BUCHNER, A., WELLINGTON, E.M. und SMALLA, K. (2000): Successfull strategy for the selection of new strawberry-associated rhizobacteria antagonistic to *Verticillium* wilt. Can. J. Microbiol. 46, 1128–1137
- BERKELMANN, B. und KÖHN, S. (1993): Möglichkeiten der Charakterisierung einer aus hydroponischer Nährlösung stammenden Bakterienflora mittels MIS (Microbial Identification System). Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 45, 165–171
- BEST, R. und HENRY, G. (1992): Report of the first meeting of the international network for cassava genetic resources, eds. Roca, W.M. & Thro, A.M., Cent. Int. Agric. Trop., Cali, Colombia, 3–11
- BOHER, B., DANIEL, J.F., FABRES, G. und BANI, G. (1983): Action de *Pseudotheraptus devastans* (Dist.) (het. *Coreidae*) et de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. dans le développement des chancres et la chute des feuilles chez le manioc. Agronomie 3, 989–994
- BONSI, E., ZAWABA, R., DAVID, P. und NTI, C. (1998): Enhanced production, recipe development and consumption of sweet potato in Ghana, West Africa. Trop. Agric. (Trinidad) 75, 320–322
- BOPAIH, B.M., PANI, S.P. und RAI, P.V. (1978): Phyllosphere microflora of some common plants. Mysore J. agric. Sci. 12, 398–403
- BREITENBACH, E., NIRENBERG, H.I., HENTSCHEL, K.-D., DEML, G. und BOCHOW, H. (1998): Phytosanitäre Qualitätsbeurteilung von gewerblich hergestellten Komposten anhand ihres Pilzspektrums. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 50, 111–117
- BRINTON, F.W. und TRÄNKER, A. (1994): Investigations into liquid compost extracts (Teas) for the control of plant pathogenic fungi. [http://www.woodsend.org/compost\\_tea.pdf](http://www.woodsend.org/compost_tea.pdf), 1–12
- BROWN, E.W. und DAVIS, D.R. (1992): Chitinase activity in *Stylosanthes guianensis* systemically protected against *Colletotrichum gloeosporioides*. J. Phytopathology 136, 247–256
- BRUNOLD, C.H., RÜEGSEGG, A. und BRÄNDLE, R. (1996): Stress bei Pflanzen. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 325–330
- BUDDE, B. und WELTZIEN, H.C. (1988): Phytosanitäre Wirkungen von Kompostextrakten und -substraten im Wirt-Erreger-System Gerste – Echter Mehltau (*Erysiphe graminis* DC f. sp. *hordei* MARCHAL). Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent 53/2a, 363–371

- CAPOTE, A., RODRIGUEZ DE LA ROSA, N., CASTANEDA, R.F., PEREZ, O. und MARRERO, N. (2001): Isolation of crude filtrates of *Alternaria solani*, and determination of their phytotoxic activity in cultivars of *Lycopersicon esculentum* Mill.. *Revista de Proteccion Vegetal* 16, 44–49
- CARAVACA, F., BAREA, J.M., FIGUEROA, D. und ROLDAN, A. (2002): Assessing the effectiveness of mycorrhizal inoculation and soil compost addition for enhancing reafforestation with *Olea europea* subsp. *sylvestris* through changes in soil biological and physical parameters. *Applied Soil Ecology* 20, 107–118
- CHEN, W., HOITNIK, H.A.J. und SCHMITTHENNER, A.F. (1987): Factors affecting suppression of *Pythium* damping-off in container media amended with composts. *Phytopathology* 77, 755–760
- COHEN, Y., NIDERMAN, T., MOSINGER, E. und FLUHR, R. (1994):  $\beta$ -Aminobutyric acid induces the accumulation of pathogenesis-related proteins in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plants and resistance to late blight infection caused by *Phytophthora infestans*. *Plant Physiology* 104, 59–66
- COHEN, Y. und ROTEM, J. (1970): The relationship of sporulation to photosynthesis in some obligatory and facultative parasites. *Phytopathology* 60, 1600–1604
- COOK, R.J. und BAKER, K.F. (1983): The nature and practice of biological control of plant pathogens. The American Phytopathological Society, APS Press, St. Paul, Minnesota, 540
- COOKSEY, D.A. und MOORE, L.W. (1982): Biological control of crown gall with an agrocin mutant of *Agrobacterium radiobacter*. *Phytopathology* 72, 919–921
- CRONIN, M.J., YOHALEM, D.S., HARRIS, R.F. und ANDREWS, J.H. (1996): Putative mechanism and dynamics of inhibition of the apple scab pathogen *Venturia inaequalis* by compost extracts. *Soil Biol. Biochem.* 28, 1241–1249
- DATAR, V.V. und MAYEE, C.D. (1982): Conidial dispersal of *Alternaria solani* in tomato. *Indian Phytopathology* 35, 68–70
- DEAN, R.A. (1997): Signal pathways and appressorium morphogenesis. *Annu. Rev. Phytopathol.* 35, 211–234
- DECAL, A., GARCIA-LEPE, R. und MELGAREJO, P. (2000): Induced resistance by *Penicillium oxalicum* against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Histological studies of infected and induced tomato stems. *Phytopathology* 90, 260–268

- DENGEL, H.J. (1981): Zur Ätiologie der Anthraknose des Manioks. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 88, 525–529
- DIK, A.J., FOKKEMA, N.J. und VAN PELT, J.A. (1992): Influence of climatic and nutritional factors on yeast population dynamics in the phyllosphere of wheat. Microb. Ecol. 23, 41–52
- DITTMER, U., BUDDE, K., STINDT, A. und WELTZIEN, H.C. (1990): Der Einfluss der Kompostierung von Kompostsubstraten und wässrigen Kompostextrakten auf verschiedene Pflanzenkrankheitserreger. Gesunde Pflanzen 42, 219–226
- DOUGLAS, D.R. und GROSKOPP, M.D. (1974): Control of early blight in eastern and southcentral Idaho. Am. Potato 51, 361–368
- DUBE, H.C. (2001): Rhizobacteria in biological control and plant growth promotion. J. Mycol. Pl. Pathol. 31, 9–21
- DUIJFF, J.B., ERKELENS, A., BAKKER, P.A.H.M. und SCHIPPERS, B. (1995): Einfluss des pH-Wertes auf die Unterdrückung der *Fusarium*-Welke bei Nelken durch *Pseudomonas fluorescens* WCS417r. J. Phytopathology 143, 217–222
- DUIJFF, J.B., RECORBET, G., BAKKER, P.A.H.M., LOPER, J. E., LEMANCEAU, P. (1999): Microbial antagonism at the root level is involved in the suppression of *Fusarium* wilt by the combination of nonpathogenic *Fusarium oxysporum* Fo47 and *Pseudomonas putida* WCS358. Phytopathology 89, 1073–1079
- DUKES, P.D., BOHAC, J.R. und MUELLER, J.D. (1994): Vegetables: sweet potato (*Ipomoea batatas*), stem rot, *Fusarium oxysporum* f. sp. *batatas*. Biological and cultural tests for control of plant diseases 9, 51
- EGAMBERDIYEVA, D., MAMIEV, M. und HOFlich, G. (2001): Emergence promoting bacteria for improvement of plant growth in semi arid regions. Conservation agriculture, a worldwide challenge. First world congress on conservation agriculture, Madrid (Spain), 1-5 October. Volume 2: offered contributions, 491–495
- EL-ABYAD, M.S., EL-SAYED, M.A., EL-SHANSHOURY, A.R. und EL-SABBAGH, S.M. (1996): Antimicrobial activities of *Streptomyces pulcher*, *S. canescens* and *S. citreofluorescens* against fungal and bacterial pathogens of tomato in vitro. Folia Microbiologica 41, 321–328
- ELAD, Y. und BAKER, R. (1985): Influence of trace amounts of cations and siderophore-producing pseudomonads on chlamydospore germination of *Fusarium oxysporum*. Phytopathology 75, 1047–1052

- ELAD, Y. und SHTIENBERG, D. (1994): Effect of compost water extracts on grey mould (*Botrytis cinerea*). Crop Protection 13, 109–114
- EL-MODAFAR, C., TANTAOUI, A. und EL-BOUSTANI, E. (2000): Effet de l'acide cafeoylschikimique des racines du palmier dattier sur l'activite et la production des enzymes hydrolytiques de *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*. J. Phytopathology 148, 101–108
- EL-TARABILY, K.A., SOLIMAN, M.H., NASSAR, A.H., AL-HASSANI, H.A., SIVASITHAMPARAM, K., MCKENNA, F. und HARDY, G.E.S.T.J. (2000): Biological control of *Sclerotinia minor* using a chitinolytic bacterium and actinomycetes. Plant Pathology 49, 573–583
- ERHART, E., BURIAN, K., HARTL, W. und STICH, K. (1999): Suppression of *Pythium ultimum* by biowaste composts in relation to compost microbial biomass, activity and content of phenolic compounds. J. Phytopathology 147, 299–355
- ESTRADA, A.B., DODD, J.C. und JEFFRIES, P. (2000): Effect of humidity and temperature on conidial germination and appressorium development of two Philippine isolates of the mango anthracnose pathogen *Colletotrichum gloeosporioides*. Plant Pathology 49, 608–618
- EPPLER, A. (1994): Der hemmende Einfluss von Niemprodukten auf Bakterien, Mitteilungen aus der BBA, Blackwell, 383
- EXPERT, J.M. und DIGAT, B. (1995): Biocontrol of sclerotinia wilt of sunflower by *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida* strains. Can. J. Microbiol. 41, 685–691
- FAUCI, M., BEZDICEK, D.F., CALDWELL, D. und FINCH, R. (2002): Development of plant bioassay to detect herbicide contamination of compost at or below practical analytical detection limits. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 68, 79–85
- FIALA, V., GLAD, C., MARTIN, M., JOLIVET, E. und DERRIDJ, S. (1990): Occurrence of soluble carbohydrates on the phylloplane of maize (*Zea mays* L.): variations in relation to leaf heterogeneity and position on the plant. New Phytol. 115, 609–615
- FLAISHMAN, M.A., HWANG, C.S. und KOLATTUKUDY, P.E. (1995): Involvement of protein phosphorylation in the induction of apressorium formation in *Colletotrichum gloeosporioides* by its host surface wax and ethylene. Physiol. Molec. Plant Pathol. 47, 103–117
- FOKKEMA, N. J. (1988): Agrochemicals and the beneficial role of phylloplane yeasts in disease control. Ecological Bulletins 39, 91–93

- FOKKEMA, N.J. (1993): Biological control of *Phytophthora infestans* with compost extracts and selected bacterial antagonists. Bulletin OILB srop: IOBC 16, 16–20
- FOKKEMA, N.J. (1993): Opportunities and problems of control of foliar pathogens with micro-organisms. Pest. Sci. 37, 411–416
- FOKKEMA, N. J., LAAR, J. A. J., VAN DE NELIS–BLOMBERG, A. L. und SCHIPPERS, B. (1975): The buffering capacity of the natural mycoflora of rue leaves to infection by *Cochliobolus sativus*, and its susceptibility to benomyl. Netherlands Journal of Plant Pathology 81, 176–186
- FOKUNANG, C.N., AKEM, C.N., IKOTUN, T., DIXON, A.G.O. und TEMBE, E.A. (2000): Role of the insect vector, *Pseudotheraptus devastans*, in cassava anthracnose disease development. Eur. J. Plant Pathol. 106, 319–327
- FOKUNANG, C.N., DIXON, A.G.O., IKOTUN, T., ASIEDU, R. TEMBE, E.A. und AKEM, C.N. (2001): In vitro, greenhouse and field assessments of cassava lines for resistance to anthracnose disease caused by *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *manihotis*. Mycopathologia 154, 191–198
- FOKUNANG, C.N., DIXON, A.G.O., AKEM, C.N. und IKOTUN, T. (2002): Rapid screening method of cassava cultivars for resistance to *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *manihotis*. J. Phytopathology 150, 6–12
- FONTEM, D.A., GUMEDZOE, M.Y.D. und NONO-WOMDIM, R. (1999): Biological constraints in tomato production in the western highlands of Cameroon. Tropicultura 16–17, 89–92
- FRANKE, W. (1997): Nutzpflanzenkunde. Nutzbare Gewächse der gemäßigten Breiten, Subtropen und Tropen. Georg Thieme Verlag Stuttgart – New York, 66–69
- FRITZ, D. und STOLZ, W. (1989): Gemüsebau. Ulmer Verlag, Stuttgart, 284–293
- FROMMEL, M.I. und PAZOS, G. (1993): Tomato rhizosphere and phyllosphere bacteria as potential biocontrol agents for fungal pathogens. Fitopatologia 28, 45–55
- FUCHS, J.G., MOENNE-LOCCOZ, Y. und DEFAGO, G. (1997): Nonpathogenic *Fusarium oxysporum* strain Fo 47 induces resistance to *Fusarium* wilt in tomato. Plant Disease 81, 492–496
- GILCHRIST, D.G. (1998): Programmed cell death in plant disease: The purpose and promise of cellular suicide. Annu. Rev. Phytopathol. 36, 393–414



- GOMEZ, G.R. (2001): Inhibition of *Fusarium oxysporum* in rutgers tomato seed by antagonistic bacteria. *Centro Agricola* 6, 65–73
- GROSS-SPANGENBERG, A. (1992): Untersuchungen zur Regulierung des Apfelschorfes *Venturia inaequalis* mit Kompost und Kompostextrakten. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität zu Bonn, 75–102
- GULLINO, M.L. und GARIBALDI, A. (2001): Recognizing and fighting fungal diseases of tomatoes. *Colture Protette* 30, 23–29
- GUPTA, R., SAXENA, R.K., CHATURVEDI, P. und VIRDI, J.S. (1995): Chitinase production by *Streptomyces viridificans*: Its potential in fungal cell wall lysis. *Journal of Applied Bacteriology* 78, 378–383
- GUZZO, S.D., BACH, E.E., MARTINS, E.M.F. und MORAES, W.B.C. (1993): Crude exopolysaccharides (EPS) from *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis*, *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* and commercial xanthan gum as inducers of protection in coffee plants against *Hemileia vastarix*. *J. Phytopathology* 139, 119–128
- HARTWELL, J.L. (1971): Plants used against cancer. *Lloydia* 30, 379–436
- HELBIG, J. (2002): Biologische Bekämpfung von *Botrytis cinerea* an der Erdbeere. Habilitationsschrift, Humboldt-Universität zu Berlin, 30
- HELBIG, J. und BOCHOW, H. (2001): Effectiveness of *Bacillus subtilis* (Isolate 25021) in controlling *Botrytis cinerea* in strawberry. *Journal of Plant Diseases and Protection* 108, 545–559
- HERNANDEZ, J.M., LABERRY, R. und LOZANO, J.C. (1986): Observations on the effect of inoculating cassava (*Manihot esculenta*) plantlets with fluorescent pseudomonads. *J. Phytopathology* 117, 17–25
- HEUBERGER, J.W. und DIMOND, A.E. (1941): Relation of flea beetle control to control of *Alternaria solani* on tomatoes. *Plant Disease Rep.* 25, 415–418
- HINDORF, H. (2000): *Colletotrichum* spp. causing anthracnose of tropical crops. *Acta Horticulturae* 531, 275–282
- HOFFMANN, M.G., NIENHAUS, F., WELTZIEN, H.C. und WILBERT, H. (1985): Lehrbuch der Phytomedizin. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 213
- HOITNIK, H.A.J., STONE, A.G. und HAN, D.Y. (1997): Suppression of plant diseases by composts. *Hort Science* 32, 184–187

- HOU, W.C., CHEN, Y.C. und LIN, Y.H. (1998): Chitinase activity of sweet potato (*Ipomoea batatas* L. [Lam] var. Tainong 57). Bot. Bull. Acad. Sin. 39, 93–97
- HUANG, Y., WILD, B.L. und MORRIS, S.C. (1992): Postharvest biological control of *Penicillium digitatum* decay, on citrus fruit by *Bacillus pumilus*. Ann. Appl. Biol. 120, 367–372
- JACHERTS, D. und JACHERTS, B. (1964): Elemente der Bakterienphysiologie. Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main, 59–61
- JEUN, Y.C., SIEGRIST, J. und BUCHENAUER, H. (2000): Biochemical and cytological studies on mechanisms of systemically induced resistance to *Phytophthora infestans* in tomato plants. J. Phytopathology 148, 129–140
- JONGEBLOED, P.H.J., KESSEL, G.J.T., MOLHOEK, W.M.L., VANDERPLAS, C.H. und FOKEMMA, N.J. (1993): Biological control of *Phytophthora infestans* with compost extracts and selected bacterial antagonists. Bulletin OILB srop: IOBC wrps bulletin, 16–20
- KETTERER, N. (1990): Untersuchungen zur Wirkung von Kompostextrakten auf den Blattbefall der Kartoffel und Tomate durch *Phytophthora infestans* sowie auf den Befall der Weinrebe durch *Plasmopara viticola*, *Pseudopeziza tracheiphila* und *Uncinula necator*. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität zu Bonn, 9–97
- KETTERER, N., FISHER, B., WELTZIEN, H.C., VERHOEFF, K., MALATHRAKIS, N.E. und WILLIAMSON, B. (1992): Biological control of *Botrytis cinerea* on grapewine by compost extracts and their microorganisms in pure culture, recent advances in *Botrytis cinerea* research. Proceedings of the 10<sup>th</sup> International *Botrytis* symposium, Heraklion, Crete, Greece, 5–10 April, 179–186
- KETTERER, N. und SCHWAGER, L. (1992): Einfluss von Kompostextrakten auf den Krankheitsbefall und die Phyllosphärenflora bei Buschbohnen- und Tomatenblättern. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent 57/2b, 411–421
- KIFFER, E. und MORELET, M. (1999): The Deuteromycetes. Mitosporic fungi. Classification and generic keys. Science Publishers Inc. U.S.A., 6–37
- KIHURANI, A.W., SKOGLUND, L.G. und GATUMBI, R.W. (1993): Occurrence of sweet potato chlorotic leaf distortion caused by *Fusarium lateritium* in Kenya. Plant Disease 77, 1260–1261
- KIM, Y., LIU, Z., LI, D. und KOLATTUKUDI, P.E. (2000): Two novel genes induced by hard-surface contact of *Colletotrichum gloeosporioides* conidia. Journal of Bacteriology 182, 4688–4695

- KOCH, E. (1996): Wirkungsweise und Anwendungsmöglichkeiten mikrobieller Antagonisten von Pflanzenkrankheiten. *Gesunde Pflanzen* 48, 11–19
- KOGEL, K.H. und VON ALTEN, H. (2001): Induced resistance. *Pflanzenkrankheiten* 6, 18–27
- KOOMEN, I. und JEFFRIES, P. (1993): Effects of antagonistic microorganisms on the post-harvest development of *Colletotrichum gloeosporioides* on mango. *Plant Pathology* 42, 230–237
- KORSTEN, L., DE JAGER, E.S. und DE VILLIERS, E.E. (1995): Evaluation of bacterial epiphytes from avocado leaf and fruit surfaces for biocontrol of avocado postharvest diseases. *Plant Disease* 79, 1149–1156
- KRAUSS, U. und BUSTAMENTE, E. (1999): Isolation of native fungal and bacterial antagonists against plant diseases. *Research Methodology of Plant Diseases with Special Reference to Fungal Diseases of Cocoa. Workshop Manual*. Edited by U. Krauss & p. Hebbar, CATIE, Costa Rica 28, 38–43
- KRUG, H. (1991): Gemüseproduktion. Ein Lehr- und Nachschlagewerk für Studium und Praxis. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 422–440
- KUO, K.C. (1999): Germination and appressorium formation in *Colletotrichum gloeosporioides*. *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC (B)* 23, 126–132
- LAMONDIA, J.A., GENT, M.P.N., FERRANDINO, F.J., ELMER W.H. und STONER, K.A. (1999): Effect of compost amendment or straw mulch on potato early drying disease. *Plant Disease* 83, 361–366
- LANGSDORF, G., FURUICHI, N., DOKE, N. und NISHIMURA, S. (1990): Investigations on *Alternaria solani* infections: Detection of alternaric acid and a susceptibility inducing factor in the spore-germination fluid of *A. solani*. *J. Phytopathology* 128, 271–282
- LAWRENCE C.B., JOOSTEN, M.H.A.J. und TUZUN, S. (1996): Differential induction of pathogenesis-related proteins in tomato by *Alternaria solani* and the association of a basic isozyme with resistance. *Physiol. Molec. Plant Pathol.* 48, 361–377
- LEGARD, D.E., MCQUILKEN, M.P., WHIPPS, J.M., FENLON, J.S., FERMOR, T.R., THOMPSON, I.P., BAILEY, M.J. und LYNCH, J.M. (1994): Studies of seasonal changes in the microbial populations on the phyllosphere of spring wheat as a prelude to the release of a genetically modified microorganism. *Agriculture Ecosystems and Environment* 50, 87–101

- LENNE, M.J. und PARBERY, D.G. (1976): Phyllosphere antagonists and appressorium formation in *Colletotrichum gloeosporioides*. Trans. Br. Mycol. Soc. 66, 334–336
- LINDOW, S.E. (1992): Determinants of epiphytic fitness in bacteria. In: ANDREWS, J.H. und HIRANO, S.S.. Microbial ecology of leaves. Springer-Verlag, New York, 295–314
- LIU, Z.M. und KOLATTUKUDY, P.E. (1998): Identification of a gene product induced by hard–surface contact of *Colletotrichum gloeosporioides* conidia as a ubiquitin–conjugating enzyme by yeast complementation. Journal of Bacteriology 180, 3592–3597
- LIU, C.H. und WU, W.S. (1997): Chemical und biological control of tomato early blight. Plant Pathology Bulletin 6, 132–140
- LOPER, J.E. und BUYER, J.S. (1991): Siderophores in microbial interactions on plant surfaces. Mol. Plant Microbe Interact. 4, 5–13
- LOPES, C.A. und BOITEUX, L.S. (1994): Leaf spot and stem blight of sweet potato caused by *Alternaria bataticola*: a new record to South America. Plant Disease 78, 1107–1109
- LUKENS, R.J. und HORSFALL, J.G. (1969): Spore initiation in *Alternaria solani*. Phytopathology 59, 1039
- MADDEN, L., PENNYPACKER, S.P. und MACNAB, A.A. (1978): FAST, a forecast system for *Alternaria solani* on Tomato. Phytopathology 68, 1354–1358
- MAHUNGU, N.M., DIXON, A.G.O. und KUMBIRA, J.M. (1994): Breeding cassava for multiple pest resistance in Africa. African Crop Science Journal 2, 539–552
- MAIERO, M., BEAN, G.A. und NIG, T.J. (1991): Toxin production by *Alternaria solani* and its related phytotoxicity to tomato breeding lines. Phytopathology 81, 1030–1033
- MANN, C. (1997): Reseeding the green revolution. Sciences 277, 1038–1043
- MARTEN, P., BRÜCKNER, S. und BERG, G. (2001): Biologischer Pflanzenschutz mit Rhizobakterien – eine umweltfreundliche Alternative zur Kontrolle boden– und samenbürtiger Pilze. Gesunde Pflanzen 53, 224–234
- MATTHEW, E., SPLETZER, E. und ENYEDI, A.J. (1999): Salicylic acid induces resistance to *Alternaria solani* in hydroponically grown tomato. Phytopathology 89, 722–727
- MCQUILKEN, M.P., WHIPPS, J.M. und LYNCH, J.M. (1994): Effects of compost extracts of a composted manure–straw mixture on the plant pathogen *Botrytis cinerea*. World J. Microbiol. Biotechnol. 10, 20–26

- MEERA, M.S., SCHIVANNA, M.B., KAGEYAMA, K. und HYAKUMACHI, H. (1995): Responses of cucumber cultivars to induce of systemic resistance against anthracnose by plant growth promoting fungi. *Eur. J. Plant Pathol.* 101, 421–430
- MILLER, L.T. und BERGER, T. (1985): Bacteria identification by gas chromatography of whole cell fatty acids. Hewlett-Packard comp. Application Note, 228–241, 1–8. (Zitiert bei BERKELMANN und Köhn, 1993)
- MILLER, S.A., SAHIN, F., KRAUSE, M., AL-DAHMANI, J., STONE, A. und HOITNIK, H.A.J. (1997): Control of bacterial leaf spot of radish in compost-amended planting mixes. *Phytopathology* 87, 66
- MINDT, G. (1995): Induzierte Resistenz – ein neuer Weg Kulturpflanzen vor Infektion zu schützen. Die Präsentation eines neuen Wirkprinzips auf dem internationalen Pflanzenschutzkongress in Den Haag. *Gesunde Pflanzen* 47, 318–321
- MONA, M. und RAGAB, M. (1994): Antagonism between epiphytic microorganisms and *Ustilago maydis* causing common smut of maize. *Egypt. J. Phytopathol.* 22, 17–37
- MONACO, C., NICO, A., ROLLAN, M. und URRUTIA, M. (2001): In vitro effect of fungicides used for controlling tomato early blight on mycoflora antagonists to phylloplane. *Investigacion Agraria, Produccion y Proteccion Vegetales* 16, 325–332
- MONDAL, K.K., SINGH, R.P., DUREJA, P. und VERMA, J.P. (2000): Secondary metabolites of cotton rhizobacteria in the suppression of bacterial blight of cotton. *Indian Phytopathology* 53, 22–27
- MOSES, E., NASH, C., STRANGE, R.N. und BAILEY, J.A. (1996): *Colletotrichum gloeosporioides* as the cause of stem tip dieback of cassava. *Plant Pathology* 45, 864–871
- MUIMBA, K.A. (1984): Cassava anthracnose. IITA, Annual Report, 148
- MUIMBA, K.A., ADENIJI, M.O. und TERRY, E.R. (1982): Etiology of cassava anthracnose. IITA Annual Report, 100–101
- NASU, K., YOSHIOKA, H., ICHINOSE, Y., YAMADA, T., OKU, H. und SHIRAISHI, T. (1995): Suppression of the activation of chitinase and  $\beta$ -1,3-glucanase in pea epicotyls by endogenous suppressor from *Pisum sativum*. *Ann. Phytopathol. Soc. Japan* 61, 13–17
- OFORI, F. und HAHN, S.K. (1991): Tropical root crops in developing economy. Pro.Ninth Symposium Int. Soc. Trop. Root Crops, 20–26 Oktober 1991 Accra, Ghana, 178–183

- OFOSU-ANIN, J., BUDU, K.G., BLAY, E.T. und OFFEI, S.K. (2000): Effect of transplanting seedlings in compost on yield, fruit quality and incidence of wilt diseases in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Adv. Hort. Sci. 14, 143–146
- OKA, Y., COHEN, Y. und SPIEGEL, Y. (1999): Local and systemic induced resistance to the root-knot nematode in tomato by DL- $\beta$ -amino-n-butyric acid. Phytopathology 89, 1138–1143
- OKUNO, S., YOSHIMOTO, M., KUMAGAI, T. und YAMAKAWA, O. (1998): Contents of  $\beta$ -carotene and  $\alpha$ -tocopherol of sweet potato cultivars newly developed for processing purposes. Trop. Agric. 75, 174–176
- OLSEN, K.M. und SCHAAL, B.A. (1999): Evidence on the origin of cassava: Phylogeography of *Manihot esculenta*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 96, 5586–5591
- ONYEAGBA R.A., UNAMMA, R.P.A. und ENYINNIA, T. (1988): Effects of duration of weed interference and intercropping on incidence and severity of cassava anthracnose disease (CAD) in cassava/yam/maize intercrop. J. Pl. Pro. Tropics 51, 51–54
- OTOO, J.A., MISSAH, A., OSEI, C., CARSON, A.G., ALHASSAN, A.Y., TAAH, J.K., FRIMPONG-MANSO, P.P., ASUBONTENG, K.O. und ANKOMA, A. (1998): Performance of sweet potato in different agro-ecologies in Ghana. Trop. Agric. 75, 25–28
- PACUMBABA, R.P. (1988): Incidence of three major cassava diseases on local susceptible cassava cultivars at three planting dates. J. Phytopathology 122, 337–342
- PATTERSON, C.L. (1991): Importance of chlamydospores as primary inoculum for *Alternaria solani*, incitant of collar rot and early blight on tomato. Plant Disease 75, 274–278
- PHARAND, B., CARISSE, O. und BENHAMOU, N. (2002): Cytological aspects of compost-mediated induced resistance against *Fusarium* crown and root rot in tomato. Phytopathology 92, 424–438
- PRESS, C.M., LOPER, J.E. und KLOEPPER, W.J. (2001): Role of iron in rhizobacteria-mediated induced systemic resistance of cucumber. Phytopathology 91, 593–598
- PRUSKI, D., FREEMAN, S. und DICKMAN, M.B. (2000): *Colletotrichum*. Host specificity, pathology and host-pathogen interaction. The American Phytopathological Society, APS Press, St. Paul, Minnesota, 337–346
- PRUSKI, D., MCEVOY, L.J., LEVERENTZ, B. und CONWAY W.S. (2001): Local modulation of host pH by *Colletotrichum* species as a mechanism to increase virulence. Mol. Plant Microbe Interact. 9, 1005–1113

- REHM, S. (1989): Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländern. Spezieller Pflanzenbau in den Tropen und Subtropen. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 93–113
- RICH, S. und TOMLINSON H. (1968): Effects of ozone on conidiophore and conidia of *Alternaria solani*. *Phytopathology* 58, 444–446
- ROBERSON, E.B. und FIRESTONE, M.K. (1992): Relationship between desiccation and exopolysaccharide production in a soil *Pseudomonas* sp.. *Appl. Environ. Microbiol.* 58, 1284–1291
- ROBERTS, W.K. und SELITRENNIKOFF, C.P. (1988): Plant and bacterial chitinases differ in antifungal activity. *Journal of General Microbiology* 134, 169–176
- RODRIGUEZ, C.M.A., RAMOS, R.Q., MARIN, C.P. und SANTANA, R.C. (2000): Un manejo intergrado del hongo *Alternaria solani* causante de la alternariosis del tomate. <http://www.iicasaninet.net>, 1–6
- ROSALES, A.M., THOMASHOW, L., COOK, R.J. und MEW, T.W. (1995): Isolation and identification of antifungal metabolites produced by rice-associated antagonistic *Pseudomonas* spp.. *Phytopathology* 85, 1028–1032
- ROTEM, J. (1968): Thermoxerophytic properties of *Alternaria porri* f. sp. *solani*. *Phytopathology* 58, 1284–1287
- ROTEM, J. (1994): The genus *Alternaria*, biology, epidemiology and pathogenicity. The American Phytopathological Society, APS Press, St. Paul, Minnesota, 22–223
- ROTHSTEIN, B. und SCHRÖDER, R. (2001): Kompost – Abfall oder Produkt? Eine juristische naturwissenschaftliche und ökonomische Betrachtung. Eigenverlag Rheinisches Institut für Ökologie, Köln, 68–72
- RYTTER, J.L., LUKEZIC, F.L., GRAIG, R. und MOORMAN, G.W. (1989): Biological control of germanium rust by *Bacillus subtilis*. *Phytopathology* 79, 367–370
- SACKENHEIM, R. (1993): Untersuchungen über Wirkungen von wässrigen mikrobiologisch aktiven Extrakten aus kompostierten Substraten auf den Befall der Weinrebe (*Vitis vinifera*) mit *Plasmopara viticola*, *Uncinual necator*, *Botrytis cinerea* und *Pseudopezicula tracheiphila*. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität zu Bonn, 105–135
- SACKENHEIM, R., WELTZIEN, H.C. und KAST, W.K. (1994): Effects of microflora composition in the phyllosphere on biological regulation of grapevine fungal diseases. *Vitis* 33, 235–240

- SAJISE, C.E. und CAPUNO, M.B. (1990): Pathogenic variation of *Sphaceloma batatas* Saw in sweet potato. Philippine Phytopathology 26, 36–41
- SAMERSKI, C. und WELTZIEN, H.C. (1988): Untersuchungen zum Wirkungsmechanismus von Kompostextrakten im Pathosystem Zuckerrübe – Echter Mehltau. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 95, 176–181
- SAWANT, G. und DESAI, P.V. (2001): Efficacy of dodine and mancozeb with alachlor and acephate for control of early blight of tomato. Indian Journal of Environment and Toxicology 11, 22–25
- SCHÖNBECK, F., DEHNE, H.W. und BEICHT, W. (1980): Untersuchungen zur Aktivierung unspezifischer Resistenzmechanismen in Pflanzen. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 87, 654–666
- SECK, M. (2001): Use of composted organic waste from urban households for phytosanitary purpose in peri-urban agriculture of western Africa. Rapport Annuel Senegal, Projet INCO N° ERB 3514PL 973267, 1–20
- SELLNER, B. R. (1997): Ein kleiner Blick in die Welt der Bakterien. Biologische Stoffwechsel-Vorgänge im Aquarium am Beispiel der Stickstoffoxidation (Nitrifikation). D. Aqu. u. Terr. Z. (DATZ) 12, 802–806
- SHARMA, V.K. und NOWAK, J. (1998): Enhancement of *Verticillium* wilt resistance in tomato transplants by in vitro co-culture of seedlings with a plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas* sp. strain PsJN.. Can. J. Microbiol. 44, 528–536
- SHIGEMITSU, H., HIRANO, K., ISHIZAKI, H. und KUNOH, H. (1984): Malformation of hyphae and spore germ tubes of various fungi induced by the *Bacillus licheniformis* culture filtrate. Trans. Mycol. Soc. Japan 25, 173–178
- SINGH, R.P., SINGH, S. und RANA, M.K. (2001): Effect of host nutrition on early blight of tomato. J. Mycol. Pl. Pathol. 31, 248–250
- SITTE, P., WEILER, E.W., KADEREIT, J.W., BRESINSKY, A. und KÖRNER, C. (2002): Lehrbuch der Botanik. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg – Berlin, 829–854
- SMITH, B.J. (2002): Susceptibility of vegetative tissues of fruit and vegetable hosts to infection by various *Colletotrichum* species. Acta Horticulturae 567, 631–634
- SMOLKA, S.E. (1992): Methoden zur in vitro Erfassung von Pflanzenschutz-mittelwirkungen auf Mikroorganismen aus der Phyllosphäre. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 44, 252–264



- SNEATH, P.H.A., MAIR, N.S., SHARPE, M.E. und HOLT, J.G. (1986): Bergey`s manual of systematic bacteriology, Volume 2, Section 4. Gram-negative aerobic rods and cocci, Section 13. Endospore-forming gram-positive rods and cocci 146, 1122–1123
- SNEH, B. und ICHIELEVICH-AUSTER, M. (1998): Induced resistance of cucumber seedlings caused by some non-pathogenic *Rhizoctonia* (np-R) isolates. *Phytoparasitica* 26, 27–38
- SOMANA, K.A. (2001): Utilisation des ordures menageres compostées pour la protection phytosanitaire de l`agriculture peri-urbaine. Rapport Annuel Togo, Projet INCO N° ERB 3514PL 973267, 1–20
- SOMANA, K.A. (2002): Utilisation des ordures ménageres compostées pour la protection phytosanitaire de l`agriculture péri-urbaine. Rapport Annuel Togo, Projet INCO N° ERB 3514PL 973267, 1–30
- SPLETZER, M.E. und ENYEDI, A.J. (1999): Salicylic acid induces resistance to *Alternaria solani* in hydroponically grown tomato. *Phytopathology* 89, 722–727
- SPURR, H.W.JR. (1990): The phylloplane. UCLA symposia on molecular and cellular biology. New directions in biological control: Alternatives for suppressing agricultural Pests and Diseases. Alan R. Liss, Inc, 271–278
- STANETTY, P. und MIHOVILOVIC, M. (1995): Hilfe zur Selbsthilfe. Chemisch induzierte Resistenz – Neue Strategie im Pflanzenschutz. *Der Pflanzenarzt* 48, 3–5
- STEINMANN, O. und NOELL, S. (2000): Entwicklungen auf dem Markt für landwirtschaftliche Kompostdünger. Eigenverlag Rheinisches Institut für Ökologie, Köln, 12
- STEVENSON, R.E. und PENNYPACKER, S.R. (1988): Effect of radiation, temperature and moisture on conidial germination of *Alternaria solani*. *Phytopathology* 78, 926–930
- STINDT, A. (1990): Untersuchungen zur Wirkung und den Wirkungsmechanismen von Kompostextrakten auf *Botrytis cinerea* Pers. Ex Nocca & Balb an Erdbeeren, Kopfsalat und Buschbohnen. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität zu Bonn, 90–170
- STINDT, A. und WELTZIEN, H.C. (1988): Der Einfluss von wässrigen, mikrobiologisch aktiven Extrakten von Kompostiertem organischen Material auf *Botrytis cinerea*. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent* 53/2a, 379–388
- SULLIVAN, D.J. und GARA, F. (1992): Traits of fluorescent *Pseudomonas* spp. Involved in suppression of plant root pathogens. *Microbiol. Rev.* 56, 662–676

- SURYAVANSHI, S.R., PAWAR, D.R., JOSHI, M.S. und BORKAR, P.G. (2000): Varietal reaction of tomato to early blight caused by *Alternaria solani* (Ell. & Mart.) Jones & Grout. Gujarat Agricultural University Research Journal 26, 65–66
- SZTEJNBERG, A., GALPER, S., MAZAR, S. und LISKER, N. (1989): *Ampelomyces quisqualis* for biological and integrated control of powdery mildews in Israel. J. Phytopathology 124, 285–295
- THIRIBHUVANAMALA, G., RAMAKRISHNAN, G. und DORAISWAMY, S. (2001): Effect of plant products agents *Alternaria solani*, the early blight pathogen of tomato. South Indian Horticulture 49, 257–260
- THOMSON, S.V. (1986): The role of the stigma in fire blight infections. Phytopathology 76, 476–482
- TILCHER, R., WOLF, G.A. und BRENDDEL, G. (1994): Biological control in phytopathology. Effects of microbial antagonists on leaf infestation, sporangia germination and zoospore behaviour of *Plasmopara viticola* (Berk. and Curtis) Berl. and de Toni. Mededelingen van de Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen 59, 919–929
- TOYOTA, K. und KIMURA, M. (1993): Colonization of chlamydospores of *Fusarium oxysporum* f.sp. *raphani* by soil bacteria and their effects on germination. Soil Biol. Biochem. 25, 193–197
- TOYOTA, K., MIYASHITA, K. und KIMURA, M. (1994): Introduction of a chitinase gene into *Pseudomonas stutzeri* A18 isolated from the surface of chlamydospores of *Fusarium oxysporum* f.sp. *raphani*. Soil Biol. Biochem. 26, 413–416
- TRÄNKER, A. (1991): Phytosanitäre Wirkungen von Kompost. Lebendige Erde 1, 14–20
- TRÄNKER, A. (1993): Kompost und Pflanzengesundheit: Möglichkeiten und Auswirkungen der biologischen Beeinflussung pflanzlicher Oberflächen zur Krankheitsbekämpfung. Verlag DR. KOVAC, Hamburg, 44–68
- TU, J.C. (1984): Mycoparasitism by *Coniothyrium minitans* on *Sclerotinia sclerotivorum* and its effect on sclerotial germination. Phytopathologische Zeitschrift 109, 261–268
- TUKEY, H.B. (1970): The leaching of substances from plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 21, 305–324
- UENO, H., MIYASHITA, K., SWADA, Y. und OBA, Y. (1990): Purification and some properties of extracellular chitinase from *Streptomyces* sp. S-84. Journal of General and Applied Microbiology 36, 377–392

- URBAN, J. und TRÄNKER, A. (1993): Control of grey mould (*Botrytis cinerea*) with fermented compost/water extracts. Bulletin OILB srop: IOBC wprs bulletin 16, 12–15
- VANCE, C.P., KIRK, T.K. und SHERWOOD, R.T. (1980): Lignification as a mechanism of disease resistance. Annu. Rev. Phytopathol. 18, 259–288
- VAN DAMME, P. (1983): Rapport technique final, Projet GCP/SEN/013/BEL., 1–20
- VAN DER BRUGGEN, P. und MARAITE, H. (1987): Histopathology of cassava anthracnose disease caused by *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *manihotis*. Parasitica 43, 3–21
- VAN DER BRUGGEN, P., GREGOIRE, D. und MARAITE, H. (1990): Temperature-induced alterations in the expression of susceptibility of cassava to *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *manihotis*. J. Phytopathology 130, 46–58
- VAN LOON, L.C. und VAN STRIEN, E.A. (1999): The families of pathogenesis-related proteins, their activities and comparative analysis of PR-1 type proteins. Physiol. Molec. Plant Pathol. 55, 85–97
- VESELY, D. und KOUBOBA, D. (1993): Inhibition of phytopathogenic fungi by phyllosphere yeasts. Bulletin OILB srop 16, 161–163
- VLOUTOGLOU, I. und KALOGERAKIS, S.N. (2000): Effects of inoculum concentration, wetness duration and plant age on development of early blight (*Alternaria solani*) and on shedding of leaves in tomato plants. Plant Pathology 49, 339–345
- VON ARX, J.A. (1957): Die Arten der Gattung *Colletotrichum* Cda. Phytopathologische Zeitschrift 29, 413–468
- WALKER, R., POWELL, A.A. und SEDDON, B. (1998): *Bacillus* isolates from the spermosphere of peas and dwarf french beans with antifungal activity against *Botrytis cinerea* and *Pythium* species. J. of Applied Microbiology 84, 791–801
- WALLER, J. (1992): *Colletotrichum* diseases of perennial and other cash crops. In *Colletotrichum: Biology, pathology and control* (ed. J. A. Bailey & M.J. Jeger). C.A.B. International Wallingford, U.K, 167–185
- WAWRA, A. (1990): Kompost gegen Keime. Einfluss von Kompostierung und Kompostextrakten auf Krankheitserreger. Deutscher Gartenbau 44, 2038–2039
- WEI, G., KLOEPPER, J.W. und TAZUN, S. (1991): Induction of systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum orbiculare* by select strains of plant growth-promoting rhizobacteria. Phytopathology 81, 1508–1512

- WELTZIEN, H.C. und KETTERER, N. (1986): Control of downy mildew, *Plasmopara viticola* (DE BARY) BARLESE, et de TONI, on grapevine leaves through water extracts from composted organic wastes. J. Phytopathology 116, 186–188
- WELTZIEN, H.C., KETTERER, N., SAMERSKI, C., BUDDE, K. und MEDHIN, G. (1987): Untersuchungen zur Wirkung von Kompostextrakten auf die Pflanzengesundheit. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 39, 25–28
- WILSON, M. und LINDOW, S.E. (1994): Inoculum density-dependent mortality and colonization of the phyllosphere by *Pseudomonas syringae*. Appl. Environ. Microbiol. 60, 2232–2237
- WINTERSCHEID, H., MINASSIAN, V. und WELTZIEN, H.C. (1990): Untersuchungen zur biologischen Bekämpfung des falschen Mehltaus der Gurke – (*Pseudoperonospora cubensis*)(Perk. et Curt.) Rost. - mit Kompostextrakten. Gesunde Pflanzen 42, 235–238
- WIRTH, S.J. und WOLF, G.A. (1990): Dye-labelled substrates for the assay and detection of chitinase- and lysozymeactivity. J. Microb. Methods 12, 197–205
- WIRTH, S.J. und WOLF, G.A. (1992): Micro-plate colourmetric assay for endo-acting cellulase, xylanase, chitinase, 1,3- $\beta$ -glucanase and amylase extracted from forest soil horizons. Soil Biol. Biochem. 24, 511–519
- YOHALEM, D.S., VOLAND, R., NORDHEIM, E.V., HARRIS, R.F. und ANDREWS, J.H. (1996): Sample size requirements to evaluate spore germination inhibition by compost extracts. Soil Biol. Biochem. 28, 519–525
- ZAHER, E., BARAKAT, F.M., OSMAN, A.R. und ELKHALEELY, K. (1985): Antagonism between phyllosphere bacteria and actinomycetes and *Ulocladium botrytis* Preuss causing tomato leaf spot. Egypt. J. Phytopathol. 17, 15–22
- ZHANG, D., HAN, Y.D., DICK, W.A., DAVIS, K.R. und HOITNIK, H.A.J. (1998): Compost und compost water extract-induced systemic acquired resistance in cucumber and arabidopsis. Phytopathology 88, 450–455
- ZHANG, Z. und YUEN, G.Y. (1999): Biological control of *Bipolaris sorokiniana* on tall rescue by *Stenotrophomonas maltophilia* strain C3. Phytopathology 89, 817–822
- ZHANG, Z. und YUEN, G.Y. (2000): The role of chitinase production by *Stenotrophomonas maltophilia* strain C3 in biological control of *Bipolaris sorokiniana*. Phytopathology 90, 384–389

- ZHANG, Z., YUEN, G.Y., SARATH, G. und PENHEITER, A.R. (2001): Chitinases from the plant disease biocontrol agent *Stenotrophomonas maltophilia* C3. *Phytopathology* 91, 204–211
- ZHANG, G.Q., XU, X.L., ZHAN, Y.S. und WANG, J.H. (2002): Selection of a new tomato F1 hybrid Za 93–15. *China Vegetables* 2, 32
- ZWIETERING, M.H., CUPPERS, H.G.A.M., WIT, J.C., und VAN`T RIET, K. (1994): Evaluation of data transformations and validation of a model for the effect of temperature on bacterial growth. *Appl. Environ. Microbiol.* 60, 195–203
- ZWIETERING, M.H., WIT, J.C., CUPPERS, H.G.A.M. und VAN`T RIET, K. (1994): Modeling of bacterial growth with shifts in temperature. *Appl. Environ. Microbiol.* 60, 204–213

## Anhang

### • Zusammensetzung der verwendeten Nährmedien

#### Bakterien

##### *Pseudomonas* Kings Agar B

Protease Pepton Nr. 3	20 g
Magnesiumsulfat	1,5 g
Tri-Kaliumphosphat 3hydrat	1,8 g
Glyzerin 87 %	10 g
Agar Agar	10 g
pH-Wert	7,1
1 l dest. Wasser	

##### *Streptomyces*-Agar

Glyzerin	20 ml
Glyzin	2,5 g
Fleischextrakt	1,0 g
MgSO <sub>4</sub> x 7 H <sub>2</sub> O	0,1 g
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> x 3 H <sub>2</sub> O	1,0 g
CaCO <sub>3</sub>	0,05 g
Agar Agar	17,0 g
Nystatin 300000 i.E ( nach Autoklavieren)	
i.E = internationale Einheiten	
pH-Wert	7,0
1 l dest. Wasser	
Nystatin: löslich in Wasser und Alkohol	

##### *Bacillus*-Agar

lösliche Stärke	20 g
Pepton aus Casein	3,0 g
NaCl	70 g
Agar Agar	18 g
pH-Wert	7,2
1 l dest. Wasser	

Kalzium-Agar (Anzucht der Bakterien)

Glukose	20 g
Hefeextrakt	10 g
CaCO <sub>3</sub>	20 g
Agar Agar	17 g
1 l dest. Wasser	

TSB-Agar

Trypticase Soy Broth	30 g
Bacto-Agar (Difco 0140)	15 g
1 l dest. Wasser	

**Pilze**Potato dextrose agar (PDA)

Potato dextrose	24 g
Agar Agar	17 g
pH-Wert	5,5
1 l dest. Wasser	

SNA (Slight-Nutrient-Agar)

K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1 g
KNO <sub>3</sub>	1 g
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0,5 g
KCl	0,5 g
Glukose	0,2 g
Saccharose	0,2 g
Agar Agar	
1 l dest. Wasser	

Nutrient Agar

Peptone	5 g
Fleischextrakt	3 g
Agar Agar	15 g
1 l dest. Wasser	

**• Bakterienbestimmung**Reagenz 1

15 g NaOH MERCK 6498

50 ml dest. Wasser

50 ml Methanol MERCK 6009

Reagenz 2

6N HCl 118,18 ml

100 ml Methanol MERCK 6009

Reagenz 3

50 ml Hexane MERCK 6498

50 ml MTBE MERCK 1995

Reagenz 4

3 g NaOH MERCK 6498

250 ml dest. Wasser

**Methode**

1 ml Reagenz (1) in Röhrchen zugeben

5 min. 100°C (Wasserbad)

kurz rühren

25 min. 100°C

rasch abkühlen

2 ml Reagenz (2) zugeben

kurz rühren

10 min. 80°C

rasch abkühlen

1,25 ml Reagenz (3) zugeben

10 min. schütteln

untere Phase entfernen



3 ml Reagenz (4) zugeben

5 min. schütteln

Phasetrennung abwarten

obere Phase in GC-Röhrchen mit einer Pasteurpipette abnehmen

### • Messung der Enzymaktivität an der Tomate und Batate

Für die Herstellung des Pflanzenrohextraktes wurden folgende Lösungen verwendet:

Extraktionspuffer, pH = 7,5: 24 ml 0,1 M Phosphatpuffer

1 ml PMSF-Stammlösung

18,6 g EDTA-Triplex III

PMSF-Stammlösung: 87 mg Phenylmethansulfonylfluorid

10 ml 96%iges Ethanol

0,1 M Phosphatpuffer: 0,68 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$

0,89 g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$

100 ml steriles dest. Wasser

Für die Herstellung des Pflanzenrohextraktes wurde folgende Methode angewendet:

- 100 mg Blattmaterial in flüssigem Stickstoff homogenisieren
- Zugabe von 2 ml Extraktionspuffer
- Zentrifugation: 13000 rpm (g-Zahl = 16000), 4°C, 20 min.
- Gewinnung des Pflanzenrohextraktes als Überstand

### Lösungen für die Messung der $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität

50 mM Natriumacetatpuffer, pH = 4,5

0,68 g  $\text{CH}_3\text{COONa} \times 3\text{H}_2\text{O}$

100 ml dest. Wasser

Laminarin:

2mg / ml dest. Wasser

Somogyi–Reagenz:

- 0,4 g  $\text{CuSO}_4$
- 18 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$
- 2,4 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
- 1,6 g  $\text{NaHCO}_3$
- 1,2 g  $\text{C}_4\text{H}_4\text{KNaO}_6 \times 4 \text{ H}_2\text{O}$
- 100 ml dest. Wasser

Nelson`s–Reagenz:

- 5,3 g  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$
- 0,64 g  $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$
- 4 ml 95 – 97%ige  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- 96 ml dest. Wasser

Eichlösung: 1 mg Glukose / ml dest. Wasser

### **Methode der Messung der $\beta$ -1,3-Glucanase-Aktivität**

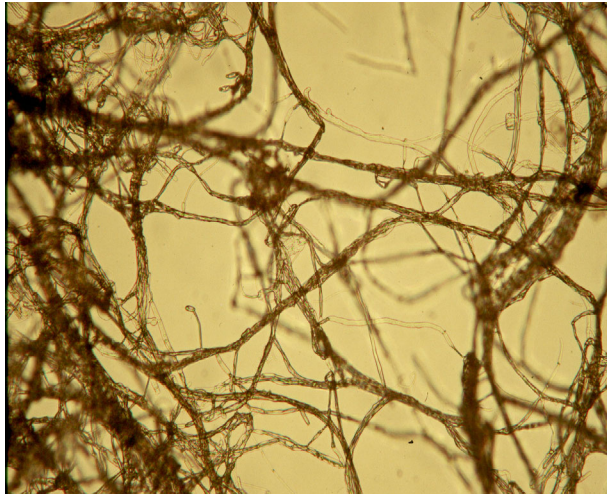
- 10  $\mu\text{l}$  Pflanzenrohextrakt
- Zugabe von 40  $\mu\text{l}$  50 mM Natriumacetat-Puffer, pH = 4,5 und 50  $\mu\text{l}$  Laminarin
- Zentrifugation: 13000 rpm, 4°C, 1 min.
- Inkubation: 37°C im Wasserbad, 10 min.
- Zugabe von 100  $\mu\text{l}$  Somogyi-Reagenz
- Inkubation: 100°C im Wasserbad, 10 min.
- 1 min. auf Eis abkühlen lassen, Zugabe von 100  $\mu\text{l}$  Nelson`s-Reagenz
- Zentrifugation: 13000 rpm, 20°C 10 min.
- Messen der Extinktion von 200  $\mu\text{l}$  Probe im Spektralphotometer bei  $\lambda = 540 \text{ nm}$

### **Lösungen für die Messung der Chitinase–Aktivität**

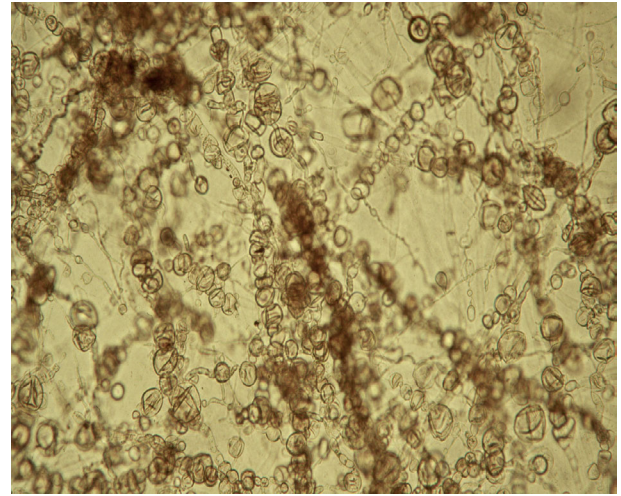
- 66,6 mM Natriumacetat-Puffer, pH = 5,0
- 2 M HCl
- CM–Chitin–RBV 2mg /ml dest. Wasser

**Methode der Messung der Chitinase-Aktivität**

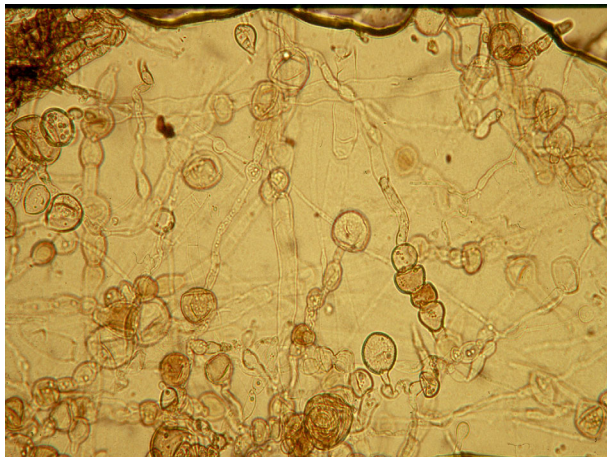
- 20 µl Pflanzenrohextrakt in einer Küvette
- Zugabe von 280 µl 66,6 mM Natriumacetat-Puffer, pH = 5,0 und 100 µl CM–Chitin–RBV
- Inkubation bei 25°C im Wasserbad, 30 min. (HOU et al., 1998) oder
- Inkubation bei 37°C im Wasserbad, 30 min. (WIRTH und WOLF, 1990)
- Zugabe von 100 µl 2 M HCl, Inkubation auf Eis 10 min.
- Zentrifugation: 12000 rpm, 4°C, 7 min.
- Verdünnen des Überstandes mit 66,6 mM Natriumacetat-Puffer, pH = 5,0 im Verhältnis 1:3 (v/v)
- Messen der Extinktion im Spektralphotometer bei  $\lambda = 550 \text{ nm}$

**Bilder**

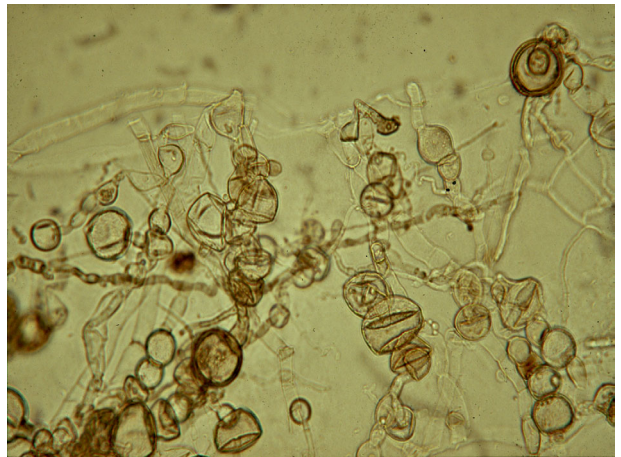
**1a:** Myzel von *C. gloeosporioides* (Kontrolle)



**1b:** Myzel von *C. gloeosporioides* im Dual-Culture-Test mit *B. licheniformis*



**1c:** Myzel von *C. gloeosporioides* im Dual-Culture-Test mit *B. licheniformis*



**1d:** Myzel von *C. gloeosporioides* im Dual-Culture-Test mit *B. licheniformis*





**2a:** Wirksamkeit von *Ke* gegenüber *A. solani* an abgetrennten Tomatenblättern (links Kontrolle)



**3a:** Dual-Culture-Test mit *B. licheniformis* und *A. solani*



**4a:** Befall mit *A. solani* an der Tomate



**4b:** Befall mit *A. solani* an der Tomate



**5a:** Wirkung bakterieller Antagonisten auf die Auskeimung des Konidiums von *A. solani*

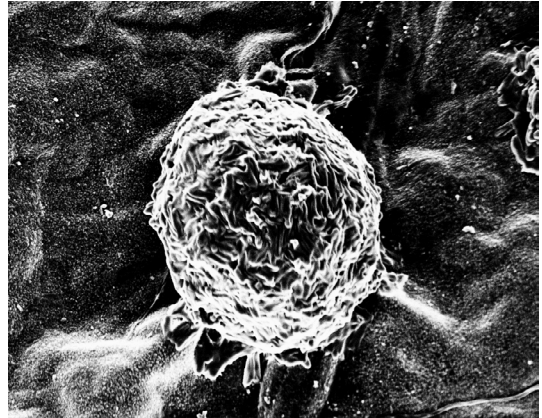


**5b:** Auskeimung des Konidiums von *A. solani*





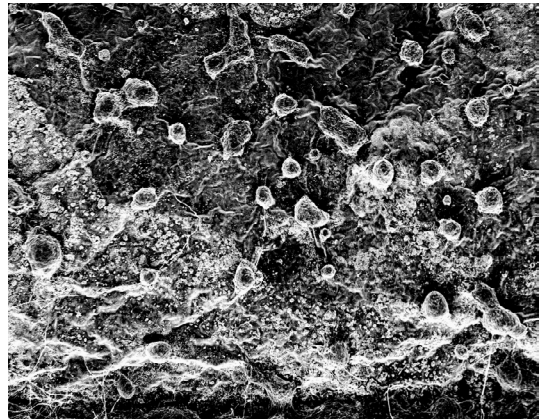
**6a:** Wirksamkeit von Ke gegen *A. solani* an der Tomate



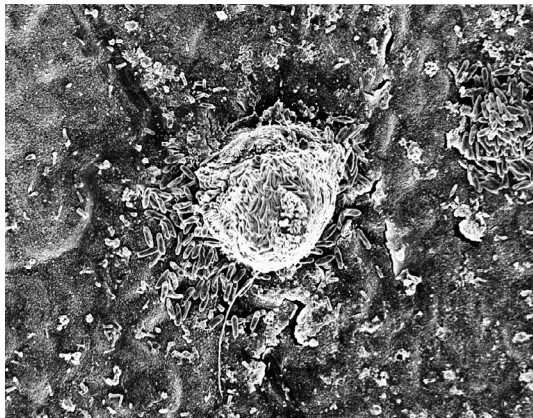
**7a:** Acervuli von *Cg* auf der Blattoberfläche von Maniok



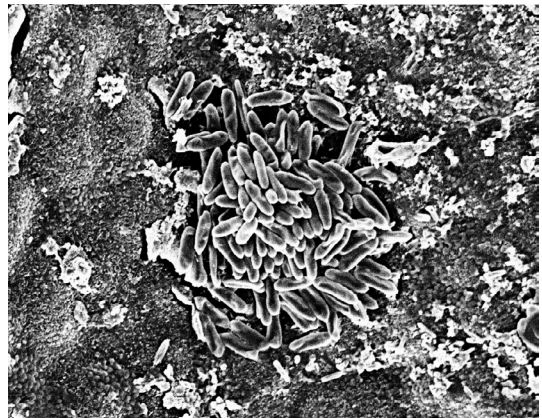
**7b:** Acervuli von *Cg* auf der Blattoberfläche von Maniok



**7c:** Acervuli von *Cg* auf der Blattoberfläche von Maniok



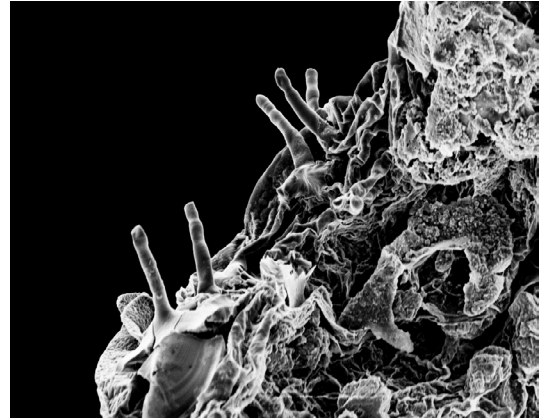
**7d:** Acervuli von *Cg* auf der Blattoberfläche von Maniok



**7e:** Sporen von *C. gloeosporioides* auf der Blattoberfläche von Maniok



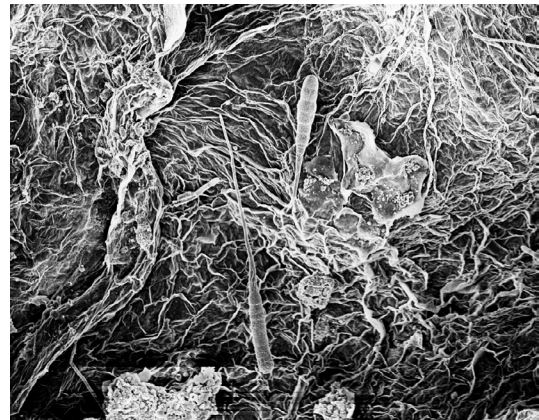
**8a:** Konidien von *A. solani* auf der Blattoberfläche der Tomate



**8b:** Konidienbildung von *A. solani* auf der Blattoberfläche der Tomate



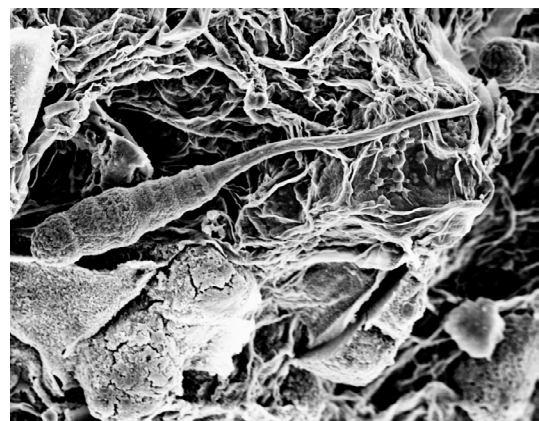
**8c:** Konidium von *A. solani* auf der Blattoberfläche der Tomate



**8d:** Konidien von *A. solani* auf der Blattoberfläche der Tomate

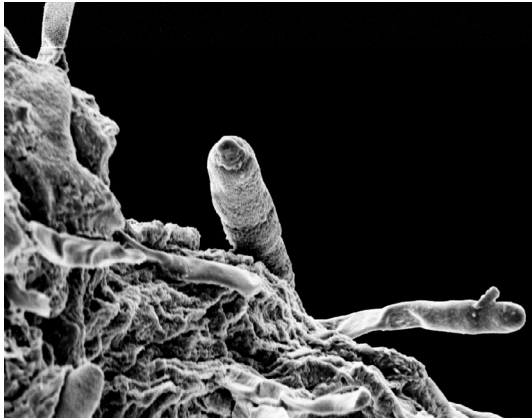


**8e:** Konidien von *A. solani* auf der Blattoberfläche der Tomate

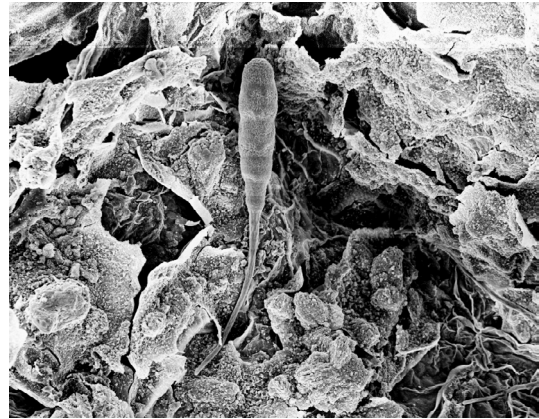


**8f:** Konidium von *A. solani* auf der Blattoberfläche der Tomate

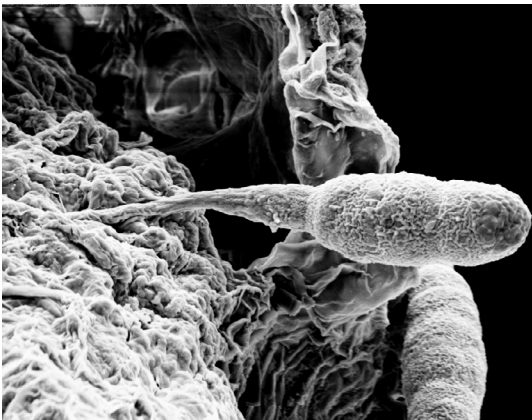




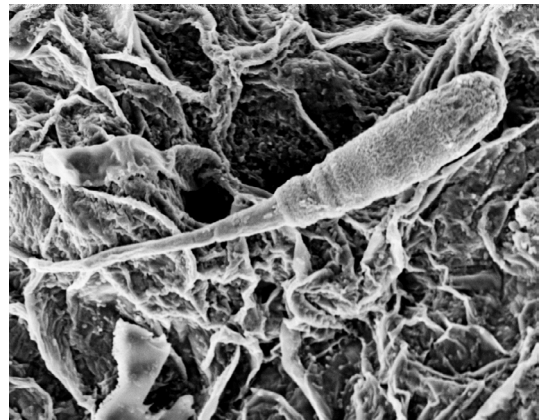
**8g:** Konidienbildung von *A. solani* an der Tomate



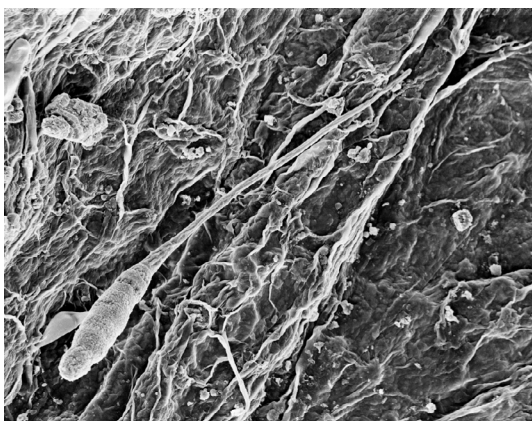
**8h:** Konidium von *A. solani* an der Tomate



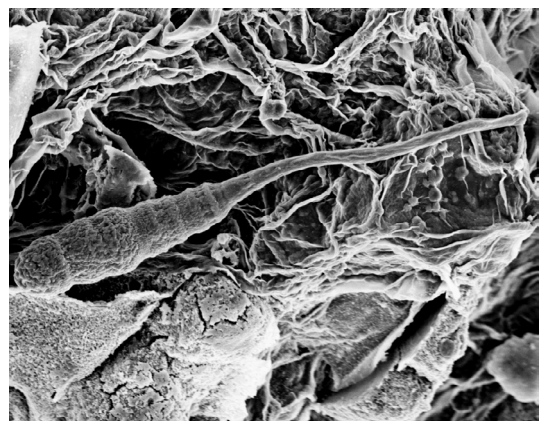
**8i:** Konidium von *A. solani* an der Tomate



**8j:** Konidium von *A. solani* an der Tomate

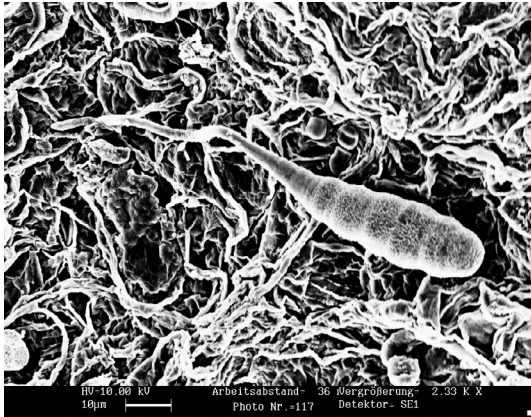


**8k:** Konidium von *A. solani* an der Tomate

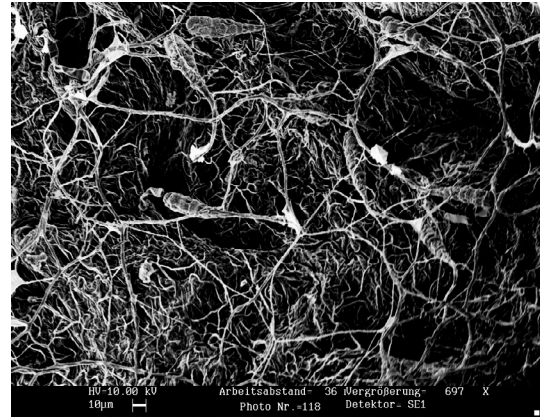


**8l:** Konidium von *A. solani* an der Tomate





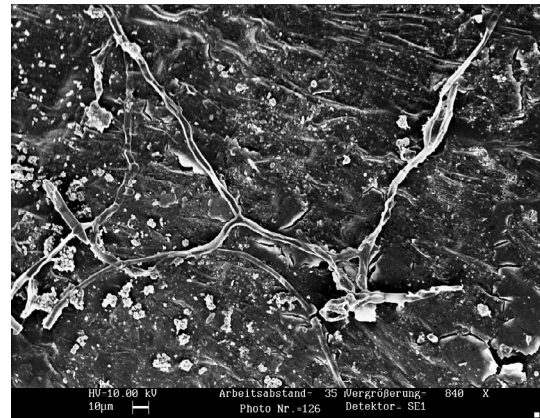
**8m:** Konidium von *A. solani* auf der Blattoberfläche der Tomate



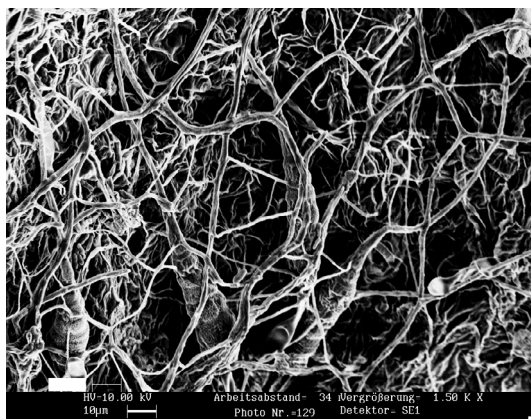
**8n:** Auskeimung des Konidiums und Myzelbildung von *A. solani* auf der Blattoberfläche der Tomate



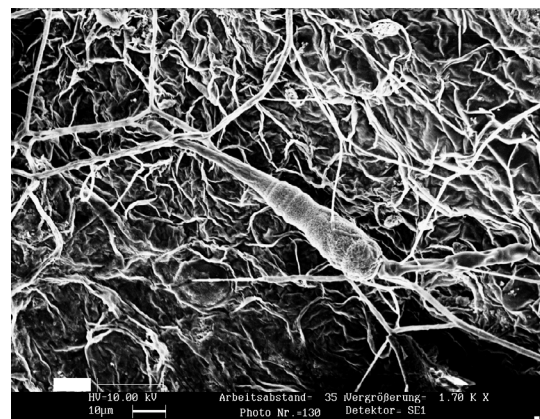
**8o:** Auskeimung des Konidiums und Myzelbildung von *A. solani* auf der Blattoberfläche der Tomate



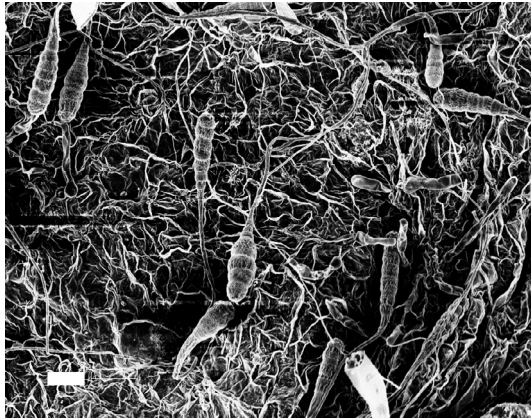
**8p:** Auskeimung des Konidiums und Myzelbildung von *A. solani* auf der Blattoberfläche der Tomate



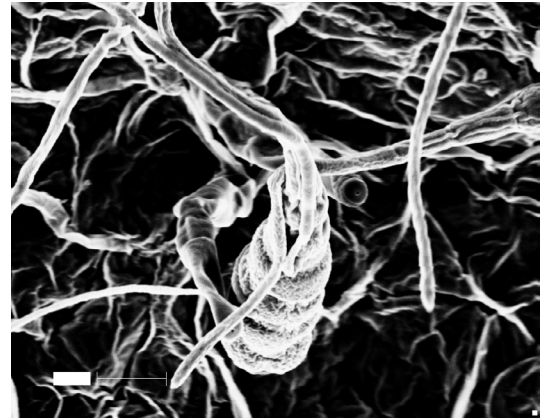
**8r:** Auskeimung des Konidiums und Myzelbildung von *A. solani* auf der Blattoberfläche der Tomate



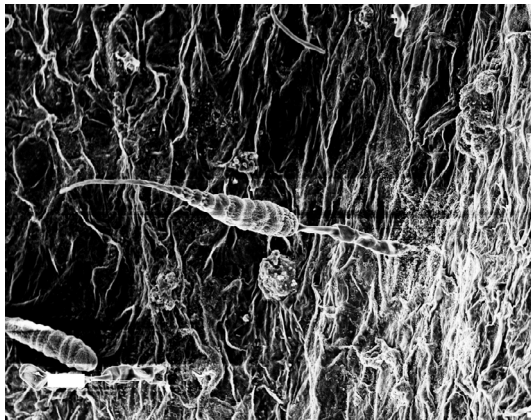
**8s:** Auskeimung des Konidiums und Myzelbildung von *A. solani* auf der Blattoberfläche der Tomate



**8t:** Ausgekeimte Konidien von *A. solani* an der Tomate



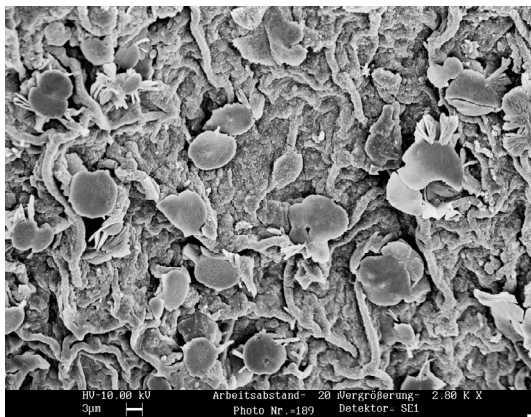
**8u:** Ausgekeimte Konidien von *A. solani* an der Tomate



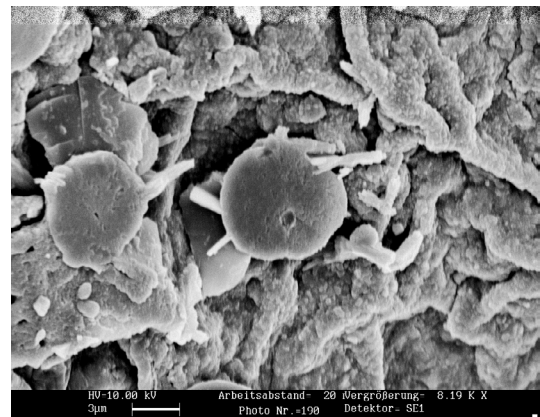
**8v:** Konidienträger mit Konidium auf der Blattoberfläche der Tomate



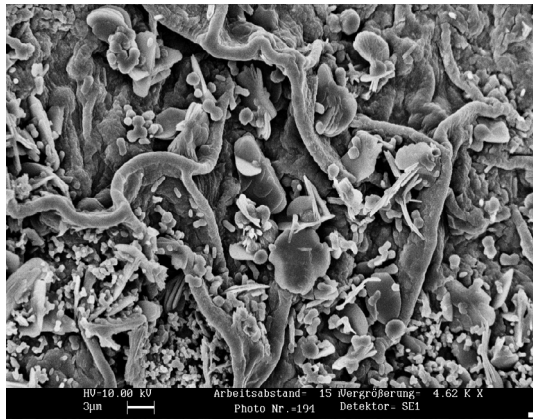
**8x:** Ausgekeimte Konidien von *A. solani* an der Tomate



**9a:** Mikroorganismen auf der Blattoberfläche der Tomate nach der Behandlung mit Extrakten



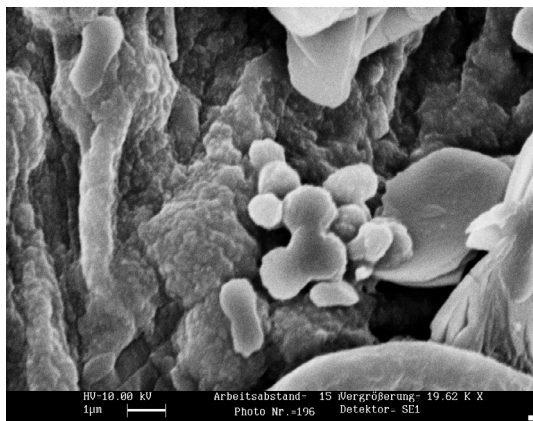
**9b:** Mikroorganismen auf der Blattoberfläche der Tomate nach der Behandlung mit Extrakten



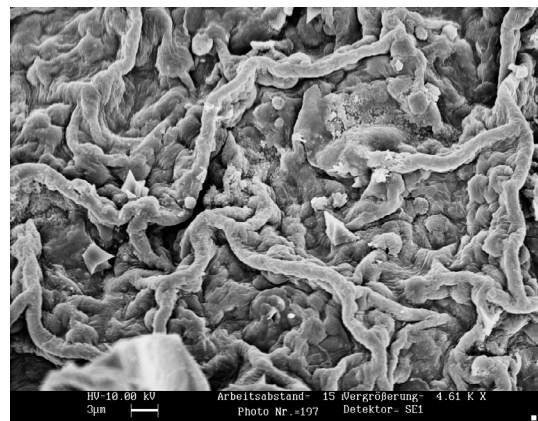
**9c:** Mikroorganismen auf der Blattoberfläche der Tomate nach der Applikation mit Extrakten



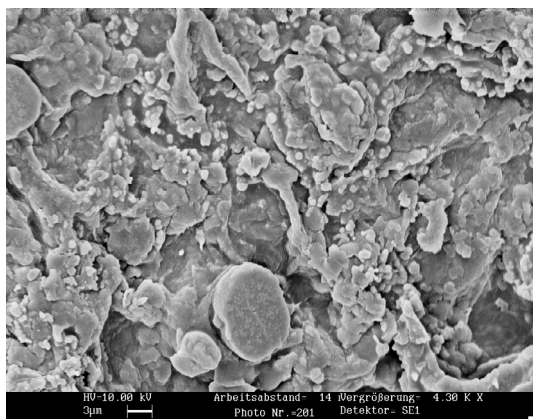
**9d:** Mikroorganismen auf der Blattoberfläche der Tomate nach der Applikation mit Extrakten



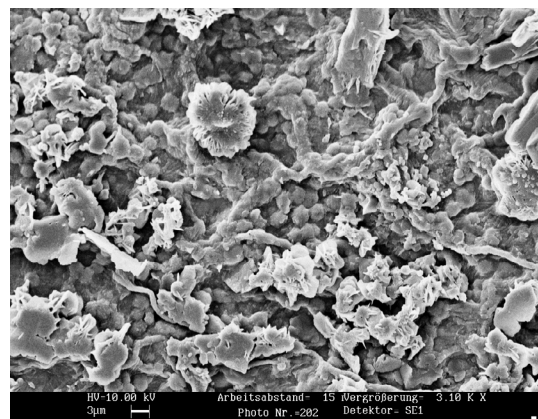
**9e:** Mikroorganismen auf der Blattoberfläche der Tomate nach der Applikation mit Extrakten



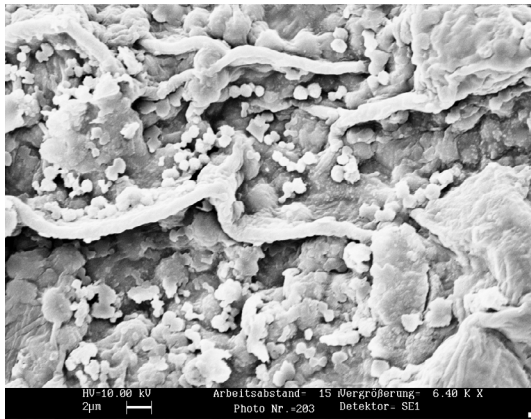
**9f:** Mikroorganismen auf der Blattoberfläche der Tomate nach der Applikation mit Extrakten



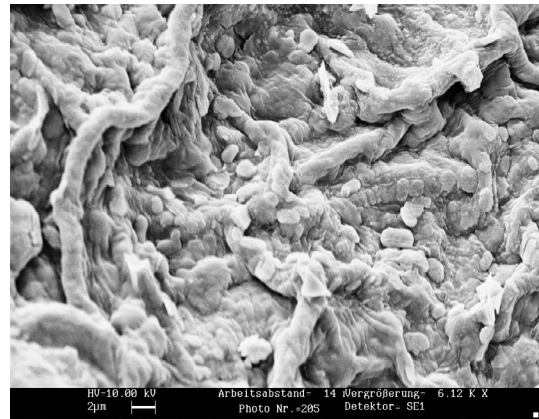
**9g:** Mikroorganismen auf der Blattoberfläche der Tomate nach der Applikation mit Extrakten



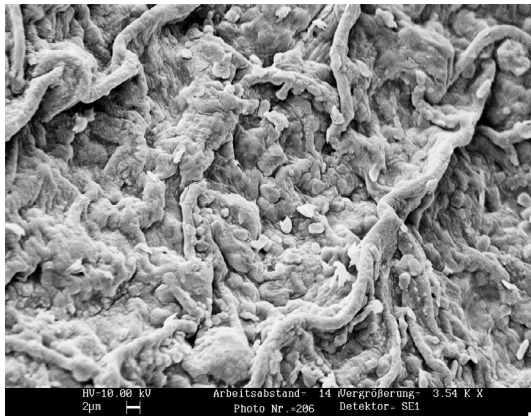
**9h:** Mikroorganismen auf der Blattoberfläche der Tomate nach der Applikation mit Extrakten



**9i:** Mikroorganismen auf der Blattoberfläche der Tomate nach der Applikation mit Extrakten



**9j:** Mikroorganismen auf der Blattoberfläche der Tomate nach der Applikation mit Extrakten



**9k:** Mikroorganismen auf der Blattoberfläche der Tomate nach der Applikation mit Extrakten

## **DANKSAGUNG**

Frau Prof. Dr. Carmen Büttner, danke ich für die Überlassung des Themas, die Betreuung, ihr Engagement und für die ständige Gesprächsbereitschaft bei der Durchführung der Arbeit

Herrn Dr. sc. agr. habil. Jürgen Helbig, danke ich für die akademische Betreuung fachlichen Anregungen und die kontinuierliche Unterstützung der Experimente und für die Begutachtung der gesamten Arbeit

Bei Herrn Prof. Dr. Wilfried Pestemer bedanke ich mich für die Begutachtung der vorliegenden Arbeit

Herrn Norbert Bismarck danke ich für die praktische Hilfsstellung im technischen Bereich

Bei Gabrielle Budruss möchte ich mich für die großartige phototechnische Unterstützung und die Hilfsbereitschaft bei den Gewächshausversuchen bedanken

Ich bedanke mich bei Herr Dr. Felgetreu für die Hilfsbereitschaft bei der Bestimmung der Bakterien

Bei Frau Dr. Goßmann bedanke ich mich herzlich für die Unterstützung bei der Bestimmung von pilzlichen Erregern und bei der Durchführung von Versuchen

Frau Renate Junge gilt mein Dank für die Durchführung und Hilfe bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen

Andrea Klinko danke ich für die Unterstützung bei der Durchführung der Enzymaktivitäten – Untersuchungen und die Organisation und Nachschub von Materialien

Bei Frau Dr. Plaschil und Herrn Jan Dettbarn bedanke ich mich für sprachliche Korrektur des Manuskriptes

Herr Dr. Seck, Herr Dr. Beavugi und Herr Somana danke ich für die Zusammenarbeit während meines Aufenthaltes in Afrika und die für Übersendung von Kompostproben

Herrn Seekamp danke ich für die Hilfsbereitschaft bei der Formulierung des Manuskriptes

Frau Wolf danke ich herzlich für die Einführung in die Laborarbeit

Bei allen Mitarbeitern des Fachgebiets Phytomedizin bedanke ich mich herzlich für die gewährte und kollegiale Hilfsbereitschaft und Zusammenarbeit

Der Versuchsstation (Standort Dahlem) der Landwirtschaftlich – Gärtnerischen Fakultät der Humboldt Universität zu Berlin gilt mein Dank für die Lieferung von Pflanzen während der Versuchszeit

Nicht zuletzt will ich mich bei meinem Vater bedanken, für seine stetige Unterstützung während der gesamten Arbeit

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen eines von der Europäischen Union Projektes gefördert. In diesem Zusammenhang möchte ich mich für die Entstehung und Abwicklung des Projektes sowie für die finanzielle Unterstützung bedanken